

==== Università degli Studi di Napoli Federico II =====

Facoltà di Ingegneria



Regina Serafino

L'ARCHITETTURA BIOCLIMATICA:

UN CASO STUDIO NAPOLETANO

Tesi di Dottorato

XXI ciclo

Il Coordinatore

Prof. Ing. Federico M. MAZZOLANI

==== *Dottorato di Ricerca in Ingegneria delle Costruzioni* =====

Introduzione

Capitolo I

1.1 L'architettura bioclimatica

1.2 L'esperienza bioclimatica del passato

1.2.1 Il sistema termale romano

1.2.2 La Mesa Verde in Colorado (USA)

1.2.3 Le torri del vento iraniane

1.2.4 Ghardaia (Algeria)

1.2.5 I Sassi di Matera

1.2.6 Il Dammuso di Pantelleria

1.2.7 I Trulli di Alberobello

1.2.8 Il Limoniere del lago di Garda

1.2.9 Le ville rinascimentali di Costozza (Vicenza)

1.3 L'esperienza bioclimatica dell'architettura moderna

1.3.1 Le Corbusier e il sole come strumento per la progettazione architettonica

1.3.2 Louis Kahn e la radiazione solare

1.3.3 Alvar Aalto ed il superamento del benessere psicologico

1.3.4 La lezione americana di Frank Lloyd Wright

1.3.5 Foster e l'architettura solare

1.3.6 Mario Botta e la costruzione "introvertita"

1.3.7 Herzog e l'arte che nasce dalla natura

1.3.8 Ove Arup e Partners: progetti di energia passiva

Capitolo II

2.1 Fenomeni fisici utilizzati nel progetto bioclimatico

2.2 Sistemi utilizzati nell'architettura bioclimatica

2.3 Sistemi solari passivi

2.3.1 Sistemi solari passivi a guadagno diretto

2.3.1.1 Atrio

2.3.1.2 Serra

2.3.1.3 Transparent Insulation System

2.3.2 Sistemi solari passivi a guadagno indiretto

2.3.2.1 Muro Trombe - Michelle

2.3.2.2 Parete ad accumulo

2.3.2.3 Roof pond

2.3.2.4 Pozzo solare

2.3.2.5 Muro a diodo

2.3.2.6 Sistema a doppia pelle

2.3.3 Sistemi solari passivi a guadagno isolato

2.3.3.1 Sistema Barra- Costantini

2.3.3.2 Rock bed (collettore ad aria con letto di pietre)

2.4 Sistemi solari attivi

2.4.1 Collettore solare

2.4.2 Sistema fotovoltaico

2.5 Sistemi di ventilazione naturale

2.5.1 Ventilation chimney (Camino per la ventilazione)

2.5.2 Torre del vento

2.5.3 Parete ventilata

2.5.4 Breathing wall (muro che respira)

2.6 Sistemi di illuminazione naturale

2.6.1 Doppi infissi

2.6.2 Mensola per la riflessione della luce

2.6.3 Louvres

Capitolo III

3.1 Il progetto bioclimatico

3.1.1 Collocazione dell'edificio

3.1.2 Orientamento dell'edificio

3.1.3 Forma

3.1.4 Lato nord

3.1.5 Distribuzione degli spazi interni

3.1.6 Protezione dell'ingresso

3.1.7 Disposizione delle finestre

3.1.8 Scelta dell'applicazione di tecnologia bioclimatica

3.1.9 Scelta dei materiali

3.2 La riqualificazione sostenibile

Capitolo IV

4.1 Criteri empirici di dimensionamento di alcuni sistemi solari passivi

4.1.1 Muro solare

4.1.2 Serra addossata

4.1.3 Roof pond

4.1.4 Accumulatore termico in muratura

4.2 Dimensionamento dei sistemi solari attivi

4.2.1 Pannello solare

4.2.2 Sistema fotovoltaico

4.3 Dimensionamento dei sistemi di ventilazione naturale

4.4 Dimensionamento dei sistemi di illuminazione naturale

Capitolo V

5.1 Metodi di calcolo semplificati per sistemi solari passivi

5.1.1 Valutazione del risparmio energetico

5.1.2 Valutazione del rischio di surriscaldamento

5.2 Metodo di Los Alamos

5.3 Calcolo delle prestazioni nelle serre

5.4 Calcolo delle prestazioni delle pareti di accumulo

5.5 Calcolo delle prestazioni dei componenti a guadagno diretto

5.6 Isolamento notturno con resistenza termica inferiore al caso di riferimento

5.7 Valutazione del rischio di surriscaldamento dovuto all'impiego di componenti solari

5.8 Calcolo della temperatura media dell'aria

5.9 Fluttuazione della temperatura dell'aria

Capitolo VI

6.1 Descrizione del progetto

6.2 Isolamento dell'involucro edilizio

6.2.1 Isolamento delle pareti esterne

6.2.2 Ventilazione del sottotetto

6.3 Predimensionamento dei sistemi solari passivi

6.3.1 Serra

6.3.2 Muro Trombe

6.4 Predimensionamento dei sistemi solari attivi

6.4.1 Pannelli solari

6.4.2 Pannelli fotovoltaici

6.5 Predimensionamento dei sistemi di ventilazione naturale

6.6 Predimensionamento dei sistemi di illuminazione naturale

Capitolo VII

7.1 Verifica della fattibilità tecnica dell'intervento

7.2 Verifica termica

7.2.1 Calcolo di dispersioni, rendimenti, fabbisogni ed indice di prestazione energetica per climatizzazione invernale (EPI)

7.2.2 Verifica trasmittanza limite

7.3 Determinazione del calore ausiliario

7.3.1 Calcolo del rapporto carico superficie serra

7.3.2 Calcolo del rapporto carico superficie muro Trombe

7.3.3 Calcolo del rapporto carico superficie ambiente

7.3.4 Calcolo degli Ht

mediando la trasmittanza della parete con e senza isolante

7.3.5 Calcolo degli apporti di calore gratuiti per irradiazione solare attraverso i componenti finestrati

7.3.6 Calcolo della temperatura di base

7.3.7 Calcolo del calore ausiliario necessario per gli ambienti con serra

7.3.8 Calcolo del calore ausiliario necessario per gli ambienti con muro Trombe

7.4 Calcolo della temperatura media e delle fluttuazioni della temperatura interna

Capitolo VIII

8.1 Verifica della fattibilità economica dell'investimento

8.2 Costo bioclimatico

8.2.1 Costo sistemi solari passivi

8.2.2 Costo impianto solare termico

8.2.3 Costo impianto fotovoltaico

8.3 Risparmio energetico con sistemi solari attivi

8.4 Risparmio energetico con sistemi solari passivi

8.5 Calcolo del tempo di recupero per sistemi solari passivi

8.6 Calcolo del tempo di recupero per sistemi solari attivi

Conclusioni

Bibliografia

Introduzione

Il concetto di bioclimatica è legato profondamente alla consapevolezza che il progresso tecnologico possa trovare un limite nella capacità di sopportazione dell'ambiente e nell'esauribilità delle risorse naturali.

Oggi la casa è ancora un rifugio, ma contemporaneamente è anche un complesso centro di comunicazione che per funzionare necessita di una serie di apparecchi (televisione, telefono, computer, ecc), di elettrodomestici e di sistemi di climatizzazione attiva sempre più utilizzati che “divorano” letteralmente una quantità enorme di energia. Il fatto che per avere questa energia sia sufficiente inserire una spina in una presa e pagare una bolletta che, pur salata che sia, non tiene conto dei costi ambientali che questo consumo comporta, si traduce in un vero e proprio spreco che si svolge ogni giorno e in ogni casa. Ormai non basta più, anche se è utile e necessario comunque, risparmiare quotidianamente spegnendo la luce o gli apparecchi elettrici quando non si usano effettivamente oppure chiudere il rubinetto quando non serve, ma ci si deve rivolgere verso forme di riduzione dei consumi energetici più pesanti, come una riduzione dell'uso dei sistemi di riscaldamento e di raffrescamento, che consumano più del 60% dell'energia totale impiegata e che stanno crescendo sempre di più a causa dell'adozione di sistemi costruttivi inadeguati al clima. Ciò non significa rinunciare a questo tipo di comfort, ma vuol dire solo progettare in relazione al clima ed al territorio circostante per spendere meno energia.

“Il procedimento desiderabile sarebbe quello di lavorare con le forze della natura, non contro di esse, e sfruttare le loro potenzialità per creare migliori condizioni di vita. La struttura che, in un determinato ambiente riduce gli

stress indesiderabili e allo stesso tempo utilizza tutte le risorse naturali favorevoli al comfort umano può essere definita climaticamente equilibrata” (Olgyay, 1981).

In tal senso un ruolo fondamentale è svolto dalla progettazione architettonica bioclimatica e in particolare dall'efficienza energetica dell'ambiente costruito. Questo lavoro mira ad evidenziare l'efficacia dell'architettura bioclimatica attraverso l'illustrazione di un caso studio.

Nelle pagine che seguono vengono mostrate le soluzioni progettuali e i sistemi che consentono di assicurare, in un edificio, il mantenimento di condizioni di benessere facendo uso quanto meno sia possibile di impianti che richiedono consumi energetici da fonti esauribili, mettendo in relazione la vita, “bios” e quindi l'uomo, in quanto “abitante” della struttura architettonica, con l'ambiente esterno, il “clima.

L'edificio studiato, i suoi muri, i suoi pavimenti, le sue coperture e le sue finestre, sono organizzati in modo tale da massimizzare i benefici del riscaldamento solare durante i mesi invernali, senza ridurre i livelli di comfort desiderati, cercando al contempo di evitare i rischi del surriscaldamento durante l'estate.

L'operazione effettuata con il controllo climatico naturale della costruzione ha mostrato vantaggi di ordine energetico, ecologico, tecnologico ma anche funzionale e formale.

.

Capitolo I

1.1 L'architettura bioclimatica

L'architettura bioclimatica si basa su un modello abitativo che soddisfa i requisiti di comfort con il controllo passivo del microclima, inteso come una strategia che, minimizzando l'uso di impianti meccanici, massimizza l'efficienza degli scambi tra edificio e ambiente.

Nella logica degli orientamenti di questa architettura è necessario analizzare soprattutto i fenomeni relativi all'ambiente e alle specifiche trasformazioni fisiche e temporali. I fattori responsabili di tali modificazioni possono essere identificati e quindi classificati, a seconda dei loro caratteri, in fattori climatici, idrografici e edificati. Alla prima categoria appartengono il soleggiamento, la ventilazione, la latitudine, le precipitazioni, l'umidità, le temperature, elementi tutti che determinano la condizione microclimatica locale. Tra i fattori idrografici principali si considerano la presenza di corsi d'acqua, di fiumi, di laghi o del mare, e inoltre la pressione, le correnti, la purezza dell'aria, la luce, il rumore. Infine, la terza categoria, cosiddetta dei fattori edafici (edificio deriva dal greco ἔδαφος che significa suolo), comprende la tessitura del suolo, la morfologia, la vegetazione spontanea, le coltivazioni, la tipologia del terreno e l'altitudine.

Alcuni dei principi adottati nelle architetture bioclimatiche sono, dunque, identificati con: l'ombreggiamento, la ventilazione, l'isolamento termico, il raffrescamento, la deumidificazione o la umidificazione, la difesa dai venti, la protezione dalle precipitazioni, la riduzione delle dispersioni termiche, la captazione solare, l'illuminazione naturale, la conservazione del calore, ecc.



fig. 1.1 – Schizzo di casa bioclimatica

L'obiettivo primario è migliorare la vivibilità degli spazi, spostando l'attenzione dal sistema tecnologico al sistema ambientale; l'energia contenuta negli interni, sotto forma di suoni, luci e calore, definisce la vivibilità adeguata alle attività umane, mentre l'edificio rappresenta l'oggetto di una mediazione tra l'ecosistema esterno e lo spazio chiuso, e perciò la progettazione è orientata all'utilizzo controllato delle caratteristiche non solo climatiche del luogo. Poiché le condizioni esterne variano con il sito e, per un dato sito, variano nel tempo, un edificio bioclimatico ideale deve modificarsi di conseguenza, disperdendo pochissimo calore quando fa freddo, captando l'energia solare che lo investe nelle ore diurne dei mesi invernali e immagazzinandola per usarla quando serve, respingendo la radiazione solare nei periodi caldi, nei quali, invece, dovrebbe cedere calore quando possibile.

1.2 L'esperienza bioclimatica del passato

L'architettura bioclimatica non è frutto solamente di moderni studi tecnici e non riguarda progettazioni elaborate soltanto a partire dall'ultimo secolo. La

storia dell'architettura bioclimatica chiarisce quello che è stato nei secoli l'adattamento del costruito al clima e all'ambiente in generale. Sin dai tempi di Aristotele (300 a.C.) e di Vitruvio nei trattati di architettura si sottolinea l'importanza della bioclimatica nelle tecniche costruttive abitative. Vitruvio nei dieci libri del "De architettura", mostra chiaramente questo interesse, tenendo sempre presente che tra i primi obiettivi di un progetto di un architetto, c'è la scelta del territorio su cui edificare una città o un edificio, in modo tale da offrire benessere al fruitore sia del costruito che degli spazi urbani.

Nel proprio trattato Vitruvio scrive: "ho affrontato come primo e fondamentale argomento, quello riguardante la costruzione delle mura di una città e la scelta del luogo in base alla salubrità. Ho poi mostrato ricorrendo al disegno geometrico il sistema dei venti e le zone da cui essi provengono, spiegando come debba essere orientato il reticolo delle vie e delle piazze. Nella costruzione delle mura si dovranno rispettare anzitutto queste regole: per prima cosa il sito deve essere particolarmente salubre, in posizione elevata, non soggetto a foschie, a gelate, né all'influenza di zone paludose, non esposto a mezzogiorno né a tramontana, ma dovrà trovarsi in una posizione intermedia [.....]. Non avremo un luogo salubre neppure quando le mura guarderanno il mare a mezzogiorno o a ponente, perché d'estate le zone esposte a Sud si riscalderanno molto al mattino fino a divenire ardenti verso mezzogiorno, mentre le zone esposte ad occidente si intiepidiscono al mattino, sono calde a mezzogiorno e roventi la sera. Quindi le persone sottoposte a questi sbalzi di temperatura ne risentono e ciò lo si può riscontrare anche nelle cose inanimate....".

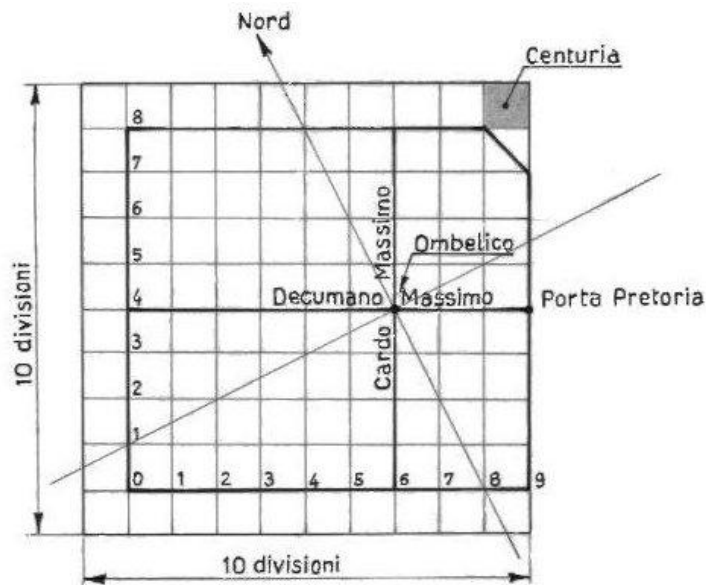


fig. 1.2 – Schema della pianta di Torino romana del 28 a.C.

Nella storia dell'architettura sono molte le opere che mostrano applicazioni di principi architettonici bioclimatici.

1.2.1 Il sistema termale romano

Il complesso sistema di riscaldamento in uso in epoca romana per le strutture termali era chiamato ipocausto, o riscaldamento sotterraneo, e consisteva nel far circolare, sotto i pavimenti e lungo le pareti degli edifici termali romani, l'aria calda proveniente da un forno alimentato a legna.

Il riscaldamento sotterraneo sembra abbia avuto origine nel I secolo a.C. nelle aree vesuviane dove, attraverso la realizzazione delle cosiddette balneae pensiles, si riusciva a far circolare il calore utilizzando una tecnica analoga a quella impiegata per lo sfruttamento delle sorgenti geotermiche localizzate in prossimità del Vesuvio. Questo impianto di riscaldamento(fig. 1.3), utilizzato

principalmente nei grandi complessi termali, veniva anche impiegato per il riscaldamento di alcune parti delle più ricche abitazioni romane.

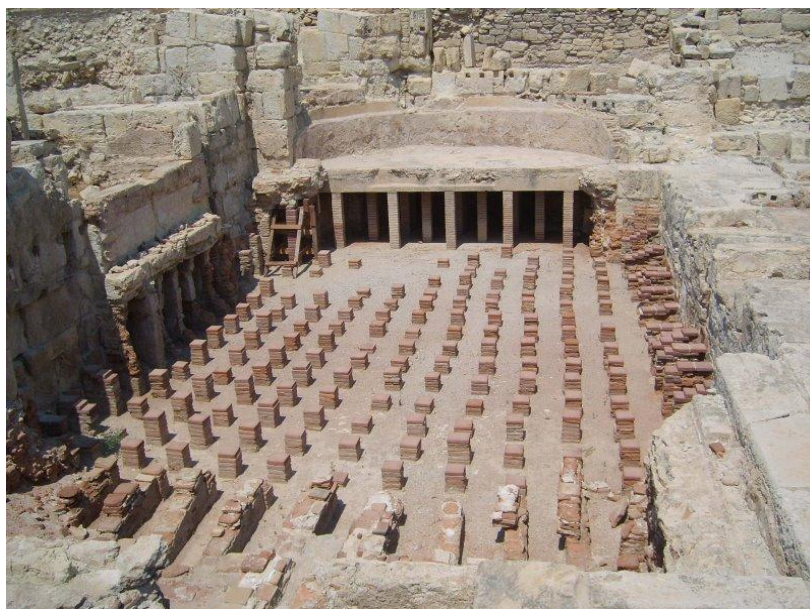


fig. 1.3 - Sistema di riscaldamento romano per il calidarium

Particolare attenzione veniva posta nella scelta della legna per il fuoco che doveva essere asciutta e di una particolare essenza per evitare che la sua combustione producesse troppo fumo che avrebbe disturbato gli ospiti delle terme.

La sua combustione avveniva nella parte centrale del complesso termale in modo tale da evitare lunghi percorsi all'acqua ed all'aria riscaldata.

Per consentire la circolazione dell'aria calda all'interno degli ambienti, i pavimenti delle stanze dei complessi termali venivano realizzati sospendendoli sopra file di mattoni posti a distanze regolari tra loro.

Vitruvio, nel suo trattato *De Architettura*, sottolinea la necessità di porre particolare cura all'isolamento delle terme utilizzando intercapedini e controsoffitti opportunamente realizzati. Inoltre, stabilisce di orientare in direzione ovest le stanze riscaldate con la finalità di esporle il più a lungo possibile alla radiazione solare della seconda parte della giornata che, notoriamente, era il periodo in cui si assisteva al massimo afflusso.

Attraverso l'esposizione si riusciva, quindi, ad aggiungere al calore prodotto dalla combustione della legna anche quello della radiazione solare.

1.2.2 La Mesa Verde in Colorado (USA)

L'insediamento indiano di Mesa Verde (fig. 1.4) in Colorado (USA), che risale al XIII secolo circa, rappresenta un esempio assai significativo di utilizzazione delle caratteristiche naturali di un territorio ai fini della sopravvivenza della popolazione che vi abita.

Tale insediamento è incassato in un taglio della roccia ed è esposto verso sud in posizione riparata rispetto ai raggi solari durante la stagione estiva ma non durante quella invernale. La roccia contro cui si addossa l'insediamento, garantisce anche una grandissima inerzia termica, riuscendo a conservare in questo modo anche le condizioni di comfort pressoché costanti per tutto l'anno. Infatti, durante l'inverno i raggi solari, che sono molto più bassi rispetto alla stagione estiva, riescono a penetrare meglio nelle cavità rocciose, accumulando, in questo modo, il calore che viene lentamente rilasciato negli ambienti interni durante la notte.

Così si viene a creare un microclima costante e confortevole rispetto all'alternarsi esterno di inverni rigidi ed estati torride.



fig. 1.4 - Insediamento indiano di Mesa Verde (Colorado)

1.2.3 Le torri del vento iraniane

Alcuni edifici della tradizione iraniana, come anche molte altre numerose opere di edilizia minore del Pakistan, utilizzano sistemi assai ingegnosi per difendere gli abitanti dalle condizioni climatiche piuttosto avverse.

A queste latitudini si assiste all'alternanza di giornate molto calde con notti in cui la temperatura si abbassa considerevolmente.

Oltre ai sistemi presenti anche in altri paesi caratterizzati dalle stesse condizioni climatiche, come l'uso di spessi muri in pietra che sono in grado di stabilizzare la temperatura ad un valore medio tra quello diurno e notturno, veniva utilizzato il sistema dei cortili interni alle residenze ricchi di piante e cespugli impiegati per schermare i muri esterni al manufatto e trattenere, in questo modo, il fresco notturno.

Gli edifici venivano costruiti addossandoli l'uno all'altro per diminuire l'insolazione e le perdite complessive di calore.

Il sistema più caratteristico dell'Iran è quello delle torri del vento o Baud Geers, che, appunto, nella lingua iraniana significa letteralmente “acchiappa-vento” (fig. 1.5).



fig.1.5 - I Badgir (le torri del vento) di Yazd

Una torre del vento iraniana è una sorta di camino diviso in più sezioni da setti verticali realizzati in mattoni. Durante la notte la torre del vento si raffredda lentamente e successivamente, durante il giorno, l'aria, a contatto con la muratura in mattoni, si raffredda diventando a sua volta più densa, scende conseguentemente verso il basso ed entra nell'edificio.

La presenza del vento accelera, evidentemente, questo processo di circolazione e di raffreddamento dell'ambiente interno.

L'aria entra nella torre dal lato esposto al vento, scende in basso ed entra nell'edificio attraverso alcune porte che si aprono sulla sala centrale e sullo scantinato. La pressione di quest'aria fresca spinge fuori l'aria calda presente all'interno dell'edificio attraverso le porte e le finestre.

Durante il giorno, la torre si riscalda lentamente e questo calore viene ceduto all'aria durante la notte creando una corrente ascendente.

Quando c'è vento, anche di notte, l'aria può dirigersi verso il basso verso la parte della torre esposta al vento, scaldandosi, in questo modo, al contatto con la muratura in mattoni, mentre, contemporaneamente si crea una corrente di aria ascensionale nella sezione sottovento della torre.

Pertanto, è possibile utilizzare la torre del vento (fig. 1.6) per raffrescare l'edificio a seconda delle necessità climatiche delle stagioni, chiudendo opportunamente le comunicazioni tra le varie sezioni della torre e l'edificio ovvero aprendole secondo le necessità.

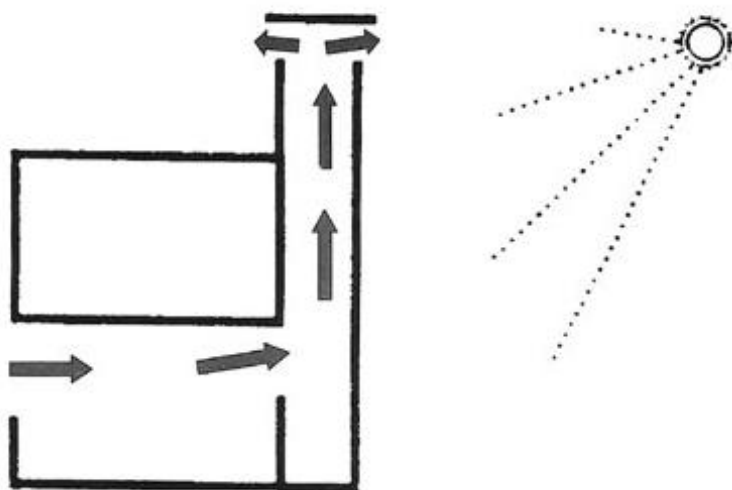


fig. 1.6 - Schema di ventilazione combinata

Le torri del vento iraniane vengono molto spesso utilizzate insieme a coperture curve o cupole che contribuiscono, contemporaneamente alle torri, alla creazione del comfort ambientale durante la calura estiva.

Infatti l'aria calda tende a salire nella copertura a volta, molto al di sopra dell'area abitata, e tale superficie curva offre una superficie maggiore attraverso cui ritrasmette il calore.

Esistono, inoltre, nell'architettura tradizionale iraniana, anche altri sistemi di raffrescamento naturale, peraltro più efficaci, che utilizzano l'acqua sfruttando, in questo caso, soprattutto il raffreddamento per evaporazione.

Infatti, l'aria, passando sopra la superficie dell'acqua, o su di una parete umida della torre, riesce a cedere calore all'acqua facendone evaporare una parte considerevole. Per realizzare queste condizioni, alcune volte, si sfrutta

soltanto l'umidità naturale del muro sotterraneo della torre, oppure del condotto che dalla torre si dirige direttamente agli ambienti dell'abitazione. Questo condotto veniva tradizionalmente utilizzato anche per la conservazione dei cibi prima che si diffondessero i frigoriferi.

1.2.4 Ghardaia (Algeria)

Nella città le case sono costruite con muri di pietra, generalmente spessi; incastrate le une nelle altre, creano grandi spazi abitabili in rapporto alle superfici esposte al sole (fig. 1.7). L'ombra copre strade e vicoli.

La capacità termica dei materiali rallenta l'entrata del calore durante il giorno e lo restituisce nel corso della notte.

La cucina è un'altra fonte di calore. Generalmente, vi sono due focolari: il primo, interno, permette in inverno di cuocere gli alimenti riscaldando l'ambiente; il secondo, esterno, utilizzato in estate, è possibilmente al riparo dal sole.

L'orientamento del portico, aperto a sud, è significativo. In estate, il sole è alto ed i suoi raggi non possono penetrare all'interno. In inverno, basso sull'orizzonte, riscalda penetrando largamente nell'ambiente. L'intonaco chiaro riflette la radiazione solare.

Elemento tipico della casa mozabita è il chebeq, un foro quadrato nel soffitto che supplisce alla mancanza di finestre. Generalmente protetto da una grata di ferro, viene chiuso con staffe parzialmente o totalmente, secondo le ore e le stagioni, costituendo una fonte di climatizzazione oltre che di illuminazione.



fig. 1.7 - Vista panoramica di Ghardaia

1.2.5 I Sassi di Matera

Sono alvei scavati nella roccia (fig. 1.8), usati primitivamente come cisterne di raccolta dell'acqua e successivamente come abitazioni vere e proprie.

Le cavità di questi ipogei penetrano nella roccia fin dove il sole riesce ad illuminare con i suoi raggi; l'inclinazione del percorso interno delle grotte rivolte a mezzogiorno, permette in inverno ai raggi del sole di infiltrarsi fino in fondo, invece nel periodo estivo, la luce solare non colpisce direttamente la parte terminale dell'alveo e questo rimane fresco ed umido.



fig. 1.8 - Sassi di Matera

La forma si caratterizza per l'abilità, la perizia, le aspirazioni e la cultura delle persone che, giorno dopo giorno, imparavano a dominare le condizioni

avverse ed ostili, riuscendo a rendere abitabile ed accogliente un luogo tanto impervio.

Gli abitanti dei Sassi di Matera erano certi anche di trasmettere ai figli, in un periodo successivo, il loro talento e la loro perizia tecnica di costruttori predisponendo persino le ammorsature per eventuali successive costruzioni ed ampliamenti delle abitazioni stesse.

La qualità del materiale utilizzato nelle costruzioni, che si prestava molto bene alle lavorazioni più diversificate e complesse, ha consentito di adattare tali costruzioni alle esigenze dei suoi abitanti, alcuni dei quali abitano ancora questi particolari manufatti (fig. 1.9).



fig. 1.9 – Vista panoramica dei Sassi di Matera

1.2.6 Il Dammuso di Pantelleria

Il Dammuso (fig. 1.10), particolare ed esemplificativo esempio di manufatti di architettura spontanea di ispirazione bioclimatica, è una costruzione tipica dell'isola di Pantelleria che tende ad offrire una difesa sia dal caldo eccessivo che dal vento. Questa costruzione, presente in numerosissimi esemplari in tutta l'isola, è nata molti secoli fa con l'obiettivo di poter vivere nella vigna e custodire i numerosi attrezzi da lavoro ed il raccolto dei contadini.

La copertura ha la forma di una volta a botte impermeabilizzata esternamente per la raccolta dell'acqua piovana che viene convogliata direttamente verso una cisterna sotterranea situata al di sotto della costruzione.



fig. 1.10 - Dammusi di Pantelleria

Il Dammuso (fig.1.11) presenta un'unica porta d'ingresso e nessuna vera e propria finestra all'infuori di due o tre piccole aperture situate alle spesse pareti, con la funzione principale di realizzare il ricambio interno dell'aria. Il microclima interno, grazie anche allo spessore considerevole delle pareti esterne che può raggiungere oltre 80 centimetri, è assai confortevole ed ha consentito, negli ultimi due secoli, di trasformare il Dammuso di Pantelleria in abitazione per numerosi abitanti.

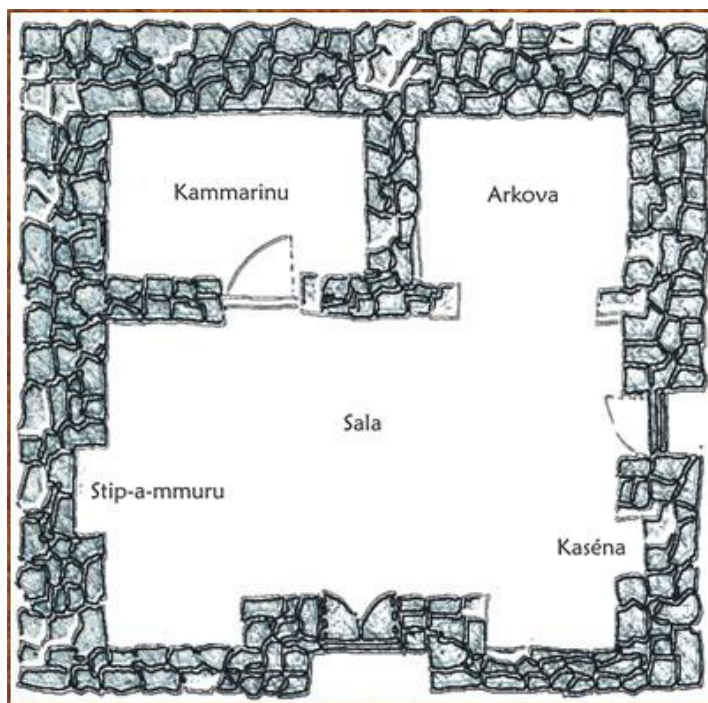


fig. 1.11 - Pianta tipo di un Dammuso

1.2.7 I Trulli di Alberobello

La grande massa muraria del trullo (fig. 1.12), assorbendo di giorno il calore del sole e restituendolo di notte, è in grado di regolare termicamente il

microclima interno al manufatto riducendo di molti gradi la temperatura interna rispetto all'esterno.



fig.1.12 - Trulli di Alberobello

Il termine trullo, di etimologia incerta, deriva dal latino *turris* o *trulla* o dal greco *tholos*, tutti termini che significano cupola.

I trulli sono caratterizzati da una base (fig.1.13) solitamente quadrangolare (con muri che vanno da uno spessore di 80 cm fino ai 270 cm del Trullo Sovrano), coperti da cupole a cono e realizzati con pietre a secco senza uso di malta.

Sono associati spesso vasche d'acqua di accumulo sottostanti che garantiscono un buon raffrescamento estivo, di circa 6-7°C rispetto alla temperatura esterna, connesso anche alla ventilazione attraverso le forature della pseudo

cupola ed al colore chiaro (calce) della superficie esterna della copertura conica. La forma a pianta compatta e le coperture coniche costituiscono un buon compromesso tra il radicamento al suolo e la difesa dalla radiazione e i guadagni solari. Il rapporto con il sito è di integrazione con le strutture di muratura a secco che servono a riparare dai venti freddi invernali anche il trullo isolato.

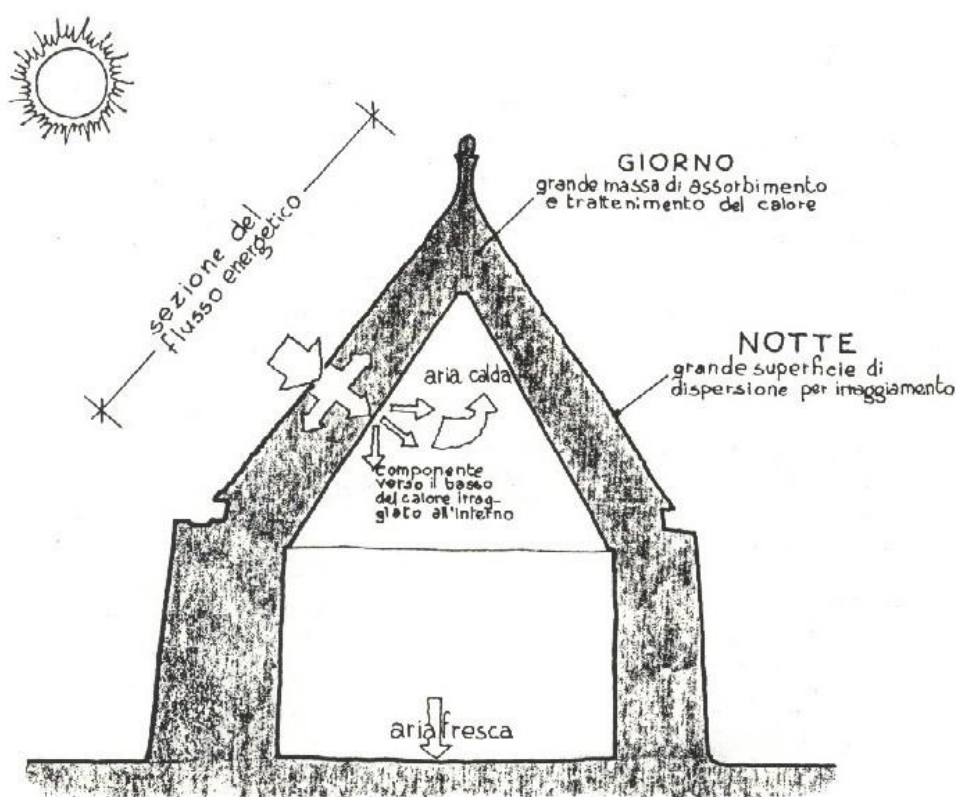


fig. 1.13 - Sezione di un trullo

1.2.8 Il Limoniere del lago di Garda

Un altro accorgimento di regolazione della temperatura, impiegato in edifici con caratteristiche bioecologiche, è costituito dalla struttura del Limoniere del lago di Garda (fig.1.14). Infatti, gli agrumi locali crescono in serre di grandi dimensioni costituite da un lungo muraglione alto anche più di 10 metri con le spalle rivolte a nord ed affiancato ad est ed ad ovest da alte muraglie a secco che impiegano pietra locale.



fig. 1.14 – Vista panoramica di un limoniere del Garda

A sud, lungo il prospetto del terreno coltivato ad agrumi, sono situati alti pilastri, molto solidi come il muro di cinta, i quali formano lo struttura scheletrica della copertura mobile e sui quali si stendono, parallelamente tra loro, robusti assi in legno che completano ed irrigidiscono la struttura del

tetto. I vani tra un pilastro e l'altro sono chiusi da alcune vetrate mobili in grado di essere facilmente aperte durante le calde giornate invernali per consentire all'aria di entrare liberamente.

Molte volte, quando la serra è posta in aree collinari o, comunque, su terreno degradante, al primo ripiano, all'altezza di circa cinque o sei metri, ne segue un altro su cui poggiano altri pilastri, ed uno ancora al di sopra, in modo da formare un ampio spazio semicircolare che riprende la forma di un anfiteatro. Ogni ripiano è sostenuto da murature che sopportano il peso di tutta la terra sottostante, formando lunghi sotterranei utilizzati come depositi per attrezzi da lavoro. Per avere più ampia apertura verso sud, i tetti sono inclinati verso la muraglia posteriore dove una grondaia raccoglie acqua piovana.

1.2.9 Le ville rinascimentali di Costozza (Vicenza)

Questo particolare complesso di ville rinascimentali (fig.1.15), situate presso l'abitato di Costozza, ha conservato come caratteristica comune, quella di essere ancora dotate di un sistema di raffrescamento naturale, che riesce a sfruttare l'aria proveniente da grandi cavità sotterranee, localizzate al di sotto delle abitazioni, chiamate comunemente covoli.



fig.1.15 - Villa di Costozza

La temperatura all'interno di queste cavità, in parte naturali ed in parte scavate dalla mano dell'uomo, resta pressoché costante durante tutto l'anno mantenendo valori medi intorno agli 11-12°C.

I covoli (fig.1.16) sono in diretta comunicazione con l'esterno attraverso numerose aperture situate a quote diverse tra loro. Pertanto, soprattutto nei periodi in cui la temperatura dell'aria esterna è maggiore di quella dell'aria interna, si innesca un moto convettivo di circolazione dell'aria per cui quella calda, che entra nei covoli dall'apertura in alto, riesce definitivamente ad uscire raffrescata dalle aperture situate in una posizione più bassa.

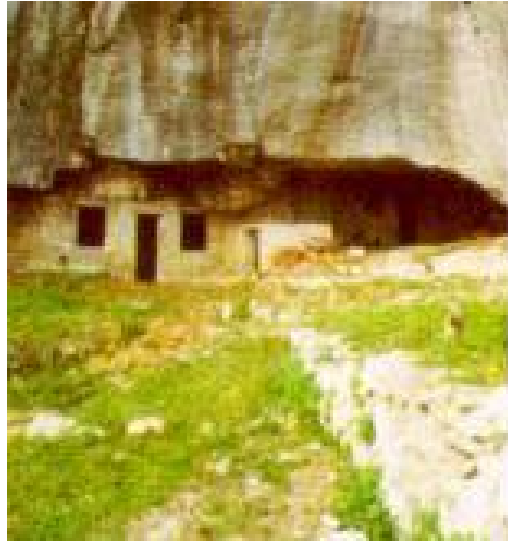


fig.1.16 - Un covolo

Con la finalità di sfruttare in modo appropriato tale fenomeno naturale di raffrescamento delle ville di Costozza, queste ultime sono state collegate direttamente alle parti inferiori dei covoli attraverso una serie di cunicoli sotterranei appositamente scavati, comunemente chiamati “ventidotti”, della lunghezza di qualche centinaio di metri.

Questi ventidotti arrivano fino alle cantine delle ville e successivamente da queste l'aria fresca penetra nei locali che si trovano nella parte più alta dell'abitazione attraverso rosoni di pietra o di marmo traforato localizzati nei pavimenti dei locali del piano terra(fig.1.17).

Se il rosone resta chiuso, durante una giornata del mese di luglio in cui la temperatura esterna può arrivare fino a 29° C, la temperatura in una stanza del piano terra può essere compresa tra i 20,5° C ed i 21,5° C. Al contrario con il rosone aperto la temperatura in un ambiente della villa si abbassa fino a

raggiungere la temperatura di 16° C, quando esternamente si arriva normalmente a 33° C.

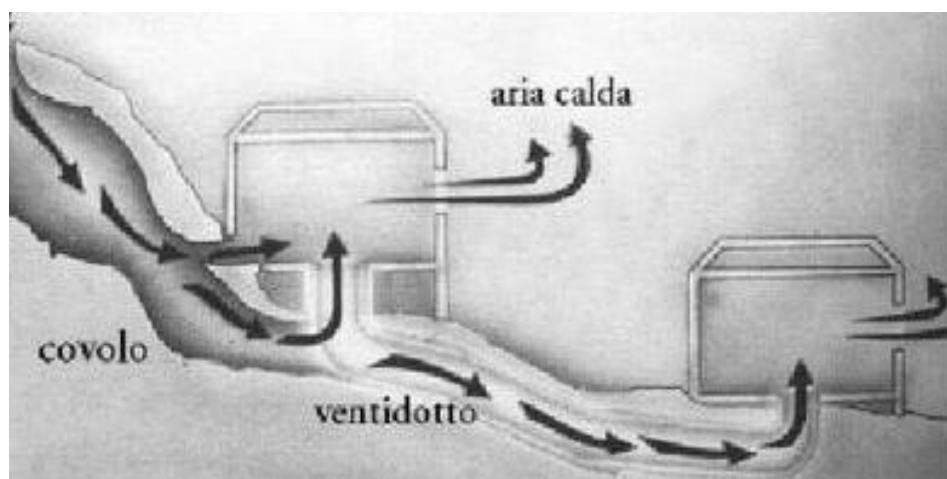


fig.1.17 – Schema del sistema di raffreddamento naturale

1.3 L'esperienza bioclimatica dell'architettura moderna

Molti architetti di fama mondiale hanno, nell'individuazione di una corretta progettazione architettonica, tenuto in seria considerazione l'aspetto bioclimatico dei loro edifici.

1.3.1 Le Corbusier ed il sole come strumento per la progettazione architettonica

Le Corbusier rende la parete esterna del tutto simile ad un “pannello di vetro” che permette alla luce solare di entrare all'interno e di aprire completamente l'edificio verso il panorama esterno.

Nelle Ville Radieuse (fig.1.18), certamente una delle opere più importanti ed esemplificative dell'architettura di Le Corbusier, i lati dell'abitazione esposti

verso nord non hanno affatto appartamenti. Questi lati della costruzione sono massicci e forati da piccole feritoie che sono in grado di far penetrare, seppure in maniera minimale, la luce all'interno rischiarando, in questo modo, le strade interne.



fig. 1.18 - Progetto della “Ville Radieuse”

In un'altro edificio, la Casa Jaoul, Le Corbusier decise di reimpiegare materiali più elementari e più usuali, rispetto a quelli più innovativi impiegati nella Ville Radieuse, come il mattone, la tegola piatta, le volte di copertura in tegole piatte a vista ed i tetti ricoperti completamente da un tappeto d'erba.

Il frangisole compare nelle opere realizzate a Barcellona, dove le abitazioni furono dotate di una profonda loggia con lamelle di cemento.

Invece ad Algeri, nei lati degli edifici esposti a nord ed ad est, furono conservate le vetrate tradizionali mentre a sud ed ovest furono installati alcuni

frangisole, costituiti da alveoli di circa 80 centimetri di profondità e 70 centimetri di altezza in grado di provocare un'ombra realmente efficace.

1.3.2 Louis Kahn e la radiazione solare

L'intera opera di Louis Kahn sembra ispirata dall'impegno di rendere la radiazione solare il materiale per eccellenza della sua architettura.

Negli primi anni sessanta, durante un soggiorno a Luanda (Angola) relativamente all'incarico del progetto del nuovo Consolato Americano, Louis Kahn si rende conto dell'enorme illuminazione abbagliante e del calore che sono generati dal sole allorché questo colpisce le superfici esterne degli edifici senza incontrare schermature intermedie.

L'architetto inventa quindi la soluzione del muro posto dinanzi alla finestra, in una sorta di brise-soleil, rivisitato in chiave monumentale, forato in modo da regolare l'accesso della luce negli ambienti interni.

Nell'Indian Institute of Management ad Ahmedabad (fig. 1.19), ultimato dai suoi collaboratori indiani, Louis Kahn sfrutta il light well (pozzo di luce) per far penetrare con forza all'interno la luce esterna.



fig. 1.19 - Indian Institute of Management ad Ahmedabad

Per Kahn la luce è sempre stata un elemento fondamentale della composizione («la struttura è datrice di luce», «tutta la materia è luce... è la luce che, quando termina di essere luce, diventa materia», in quanto è «la donatrice di ogni presenza»). Per chiarire il concetto, egli citava le colonne che, imponendo il ritmo buio-luce, reinterpretano il rapporto tra pieno e vuoto dell'edificio.

Inoltre, l'architetto affronta anche la problematica del calore generato dalla copertura invasa completamente dal sole. Nasce, quindi, un secondo elemento che può connotarsi come una sorta di sdoppiamento del tetto in due superfici separate, una per la pioggia ed una per il sole, da disporre distanziate tra loro di circa 1,80 metri. Il tetto superiore, in questa soluzione, blocca i raggi solari e crea un'intensa circolazione d'aria in tutto l'edificio.

1.3.3 Alvar Aalto ed il superamento del benessere psicologico

In tutte le sue opere realizzate è continuamente presente un'attenzione molto particolare per le soluzioni architettoniche che favoriscono il benessere complessivo di coloro che devono abitare gli spazi degli edifici.

Sono, infatti, assai conosciute le soluzioni tecniche e progettuali adottate per le stanze di degenza del Sanatorio di Paimio (fig. 1.20), che adoperano l'uso del colore sui soffitti per il riposo della vista del malato che si trova disteso e rende possibile una ventilazione naturale che giunge nell'ambiente interno indirettamente dopo aver percorso il vano compreso tra le doppie finestre.



fig. 1.20 – Vista dall'alto del sanatorio di Paimio (Finlandia)

L'architetto sottopone ad una verifica reale la sua architettura non attraverso l'astrattezza di principi estetici, ma rapportandola al comportamento quotidiano e reale degli individui che la utilizzano, vivendone i suoi spazi progettati.

Gli spazi interni che costituiscono l'involucro per i differenti momenti delle attività dell'uomo, lo proteggono, contemporaneamente, dall'ambiente esterno graduando principalmente la luce, il suono, i colori, la ventilazione ed il calore.

Pertanto, si può certamente affermare che Alvar Aalto si occupa continuamente del benessere psicologico ed in alcuni casi rende matrice fondamentale nel progetto degli spazi uno in particolare di tali fattori.

Il diffondersi dell'energia sonora in una chiesa luterana come quella costruita a Imatra, ad esempio, riesce a formare un vero e proprio spazio acustico, integrando in questo involucro sonoro, oltre al controllo graduale della luminosità dell'ambiente, anche quello della ventilazione e del riscaldamento.

Infatti, in questa realizzazione Alvar Aalto realizza una straordinaria soluzione progettuale che integra il pilastro, il soffitto e la parete quasi senza evidenziare una palese, quanto normale, discontinuità tecnologica.

1.3.4 La lezione americana di Frank Lloyd Wright

Il Larkin Building, certamente una delle realizzazioni più famose di Frank Lloyd Wright, era un semplice blocco di mattoni isolato ermeticamente in modo da proteggere lo spazio interno dalle emissioni dannose provenienti dai treni della vicina Stazione Centrale di New York.

Questo edificio era, infatti, uno dei primi edifici ad aria condizionata degli USA. L'aria esterna aspirata nella parte alta delle torri al di sopra del livello dell'inquinamento proveniente dalla stazione ferroviaria, viene sospinta negli scantinati, ormai pulita e riscaldata, e successivamente fatta risalire attraverso i condotti in mattoni forati per la distribuzione ad ogni piano.

Il benessere ambientale è perseguito non solo attraverso il condizionamento dell'aria, ma anche mediante una serie di soluzioni tecniche e progettuali capaci di creare un microambiente interno sostitutivo ed alternativo rispetto a quello esterno cui si è dovuto rinunciare a causa della presenza della stazione ferroviaria.

Nella Roberts House (fig.1.21) Frank Lloyd Wright realizza una vera e propria galleria di accesso alle finestre apribili nella fascia alta ed introduce, quale elemento di innovazione, il tipo di mattone forato che facilita il flusso d'aria del camino.



fig. 1.21 - Roberts House a River Forest (Illinois)

Rappresenta, quindi, una sorta di stufa ad aria calda, che verrà riutilizzata, l'anno successivo, nella Robie House (fig.1.22) di Chicago nel 1909, dove l'asola delle finestre apribili è sostituita da aperture situate sotto le falde del

tetto, e che, aperte durante la stagione estiva, consentono il risucchio completo dell'aria calda dagli ambienti domestici. Questa residenza è, senza dubbio, uno dei più riusciti esempi di abitazione climatizzata realizzata da Frank Lloyd Wright nel periodo cosiddetto delle "prairie". L'edificio si apre completamente verso l'esterno liberando le superfici dell'involucro e piegandole ad assumere specifiche funzioni bioclimatiche con una serie assai copiosa di soluzioni innovative intese a trasformare la casa in un efficace organismo ambientale.

Il cortile di ingresso, situato a nord e protetto dai venti gelidi dell'inverno di Chicago, si mantiene fresco ed ombreggiato durante l'estate e, insieme al piano terra anch'esso in ombra in quanto protetto a sud dal terrazzo del soggiorno, costituisce un importante serbatoio di aria fresca per l'intero edificio. Anche nelle umide giornate estive, in genere caratterizzate dall'assenza completa di vento, la massa di aria fresca riesce a condizionare l'abitazione arrivando a raffrescare anche le camere localizzate sotto tetto.

Il corpo dei servizi è collocato a nord in modo tale da costituire una vera e propria barriera al freddo. Il soggiorno è fornito, per quasi l'intero perimetro, di finestre completamente apribili e dotate di zanzariere interne che consentono ogni sorta di ventilazione incrociata.

Inoltre, la sporgenza del tetto a sud è calcolata, in modo assolutamente esatto, per impedire alla radiazione solare estiva di entrare all'interno dell'abitazione, senza togliere tuttavia la luce ed il calore durante il periodo invernale.

Gli ampi aggetti del tetto ad est e ad ovest funzionano come parasole nei torridi pomeriggi estivi, ma consentono ai raggi invernali, fortemente inclinati, di entrare trasformando il bow-window in un vero e proprio solarium. Invece,

ad est il tetto funziona come parapioggia, proteggendo l'ingresso di servizio dal lato del cortile di accesso al garage.



fig. 1.22 - Ricostruzione assonometria della Robie House a Chicago

1.3.5 Foster e l'architettura solare

Nell'opera di Sir Norman Foster and Partners l'architettura solare rappresenta una combinazione di tradizione e di tecnologia. La tradizione, infatti, è l'espressione della cultura di un tempo e di un luogo specifico mentre la tecnologia, che insegna a fare le cose, costituisce un mezzo e non un fine e, a causa degli attuali problemi energetici ed ambientali, si può tranquillamente affermare che l'architettura solare è potenzialmente la vera architettura spontanea dei nostri giorni.

Nel Business Promotion Center di Duisburg (fig.1.23), Foster and Partners garantiscono la fornitura di energia attraverso la cogenerazione e l'energia necessaria all'edificio è prodotta da un generatore azionato a gas.

Il processo solare si attiva per mezzo di celle fotovoltaiche e di raccoglitori ad alta prestazione per acqua calda situati sul tetto del manufatto.

La realizzazione del Business Promotion Center di Duisburg rappresenta il primo esempio al mondo di riscaldamento, raffreddamento e generazione solari.



fig.1.23 - Business Promotion Center di Duisburg

Nella Sede centrale della Commerzbank di Francoforte, vengono studiati nuovi modi per rendere più comodi e gradevoli gli spazi destinati agli uffici, realizzando gruppi di costruzioni a quattro piani, che sorgono intorno ad un giardino centrale.

Il giardino centrale sale a spirale sull'edificio creando una torre di grande trasparenza. Nel progetto sono stati privilegiati i sistemi ad alta efficienza energetica ambientale ed è prevista ovunque una ventilazione naturale.

Inoltre, le finestre degli uffici possono venire aperte manualmente verso l'esterno direttamente sul giardino che, paesaggisticamente, è molto curato.

In condizioni climatiche particolarmente estreme, le finestre degli uffici vengono chiuse automaticamente ed entrano in funzione i sistemi di climatizzazione interni.

Nell'Euro-Gate di Duisburg sono usate le più moderne tecnologie della microelettrica e del rinnovo ecologico. Tale manufatto dispone, infatti, di una facciata produttrice di energia che comprende celle fotovoltaiche della capacità massima di 1000 kWh.

La sua struttura completamente curva funge da concentratore insieme alla riflettanza dell'acqua ed un ampio uso di celle solari.

Nel Stansted airport terminal di Londra ritroviamo l'ispirazione alla concezione dei primi aeroporti realizzati. Infatti, la facilità di circolazione, proprie di un edificio di altri tempi, hanno ispirato la luminosità, la comodità e la calma del nuovo terminal. L'atrio, con la sua planimetria quasi quadrata, è completamente illuminato a giorno per mezzo di una rete regolare di punti luce che dal soffitto forniscono luce diffusa, riducendo notevolmente i carichi di illuminazione. L'edificio è complessivamente molto ben isolato e prelevando l'eccesso di aria calda dalle zone più densamente frequentate dai passeggeri, l'aeroporto si autoriscalda per gran parte del periodo invernale.

1.3.6 Mario Botta e la costruzione "introversa"

Mario Botta è sempre stato attento al confort per le opere da lui progettate. Le sue residenze sono particolarmente introverse e l'involucro esterno è molto compatto e, in alcuni casi, completamente chiuso.

Le forme, molto simili al cilindro (fig.1.24), o al cubo, minimizzano le superfici di dispersione e si riducono sensibilmente anche le superfici vetrate, sia per una esigenza energetica complessiva che per la necessità di contenere le dispersioni termiche. In questo modo, utilizzando tali forme, l'involucro esterno può essere coibentato molto bene e non vi sono particolari vincoli di orientamento.



fig.1.24 - Centro Petra a Suvereto (Svizzera)

La fonte di luce e di calore è rappresentata da un nucleo centrale, il cuore energetico dell'abitazione, che riceve la sua energia dall'ambiente attraverso un lucernario sovrapposto all'edificio.

Le costruzioni di Botta affacciano verso un microclima artificialmente temperato attraverso una serra: ma questo microclima è realizzato in un

ambiente interno anziché esterno all'edificio. I vantaggi sono evidenti: l'involucro esterno può essere ben coibentato, non vi sono vincoli di orientamento, è facile il controllo estivo e, infine, i costi sono limitati.

1.3.7 Herzog e l'arte che nasce dalla natura

Anche Thomas Herzog, costruendo a Ratisbona la sua prima abitazione unifamiliare (fig. 1.25), realizza la sua prima esperienza nell'ambito delle architetture solari.



fig. 1.25 - Abitazione unifamiliare a Ratisbona (Germania)

Per risolvere positivamente il bilancio termico dell'edificio di Ratisbona sono stati messi a punto diversi ed ingegnosi accorgimenti che riguardano sia l'assetto distributivo e sia le scelte tecnico-costruttive.

Nello specifico, per quanto attiene l'organizzazione funzionale, tali accorgimenti possono essere così riassunti: la realizzazione di una camera di

decompressione situata a nord in corrispondenza dell'ingresso e l'individuazione di sub-sistemi di unità ambientali con diverse esigenze microclimatiche completamente compatibili con una fruizione razionale degli spazi.

Per quanto riguarda, invece, gli aspetti tecnico-costruttivi le principali soluzioni adottate sono di seguito sinteticamente elencate: il miglioramento della capacità termica delle chiusure orizzontali di base che svolgono la funzione di massa di accumulo di calore e la realizzazione di chiusure orizzontali di copertura micro-ventilate.

Queste misure, insieme con sistemi di riscaldamento aggiunti ed i guadagni indotti di energia solare esterna attraverso il soggiorno-serra (fig.1.25), contribuiscono a ridurre il consumo annuale di gas da riscaldamento.

1.3.8 Ove Arup e Partners: progetti di energia passiva

Nel Padiglione inglese dell'Expo di Siviglia del '92 (fig.1.26), Ove Arup e Partners progettano un edificio per accogliere 20000 visitatori al giorno con temperature fino a 40°C. Il calore della radiazione solare diretta del sole viene assorbito completamente dal muro occidentale costituito da serbatoi d'acqua.

L'acqua, che scorreva lungo la parete vetrata esposta ad est, forniva un ulteriore raffrescamento naturale.

L'elettricità per il pompaggio dell'acqua delle pareti veniva generata attraverso l'impiego di pannelli fotovoltaici situati sul tetto. Questi sistemi hanno permesso un risparmio complessivo di oltre il 30% dei consumi sostenuti durante l'intera manifestazione.



fig.1.26 - Padiglione inglese dell'Expo di Siviglia

Nell'edificio GSW di Berlino viene sfruttato un "effetto camino solare" per fornire una ventilazione naturale agli spazi per gli uffici. Un sistema di schermature nell'intercapedine tra le finestre e la facciata, riceve, contemporaneamente, calore dal sole e dall'interno dell'edificio. Questa alternanza genera un flusso di aria calda verso l'alto, inducendo una ventilazione nei locali dell'edificio. La circolazione complessiva dell'aria viene automaticamente regolata a seconda delle temperature esterne.

Questi sistemi hanno portato ad un risparmio energetico di circa il 37% rispetto ad un ufficio di tipo tradizionale completamente climatizzato.

Nel Progetto Solare a Northumbria, Ove Arup e Partners hanno dimostrato, inoltre, che i pannelli solari possono essere una soluzione fattibile per rivestire gli edifici esistenti. Infatti, tali sistemi, mentre generano elettricità, riescono anche a proteggere climaticamente l'edificio. L'inclinazione dei pannelli

massimizza l'elettricità generata, fornendo, al tempo stesso, un'efficace ombreggiatura alle stanze sottostanti.

Capitolo II

2.1 Fenomeni fisici utilizzati nel progetto bioclimatico

I principali fenomeni responsabili delle trasformazioni fisiche, che permettono di sfruttare l'energia solare, sono l'effetto serra e l'effetto camino, la trasparenza alle radiazioni solari, luminose e termiche di alcuni materiali, la trasmissione del calore, i moti convettivi naturali, l'inerzia termica di alcune strutture.

L'effetto serra (fig 2.1) è reso possibile grazie ad una particolare proprietà del vetro, che è trasparente alle radiazioni di media lunghezza d'onda, mentre risulta opaco alle lunghezze d'onda inferiori e a quelle superiori: le radiazioni termiche di media lunghezza d'onda provenienti dal sole filtrano dunque attraverso pareti vetrate e, penetrando nello spazio da esse definito, riscaldano l'ambiente. Sebbene il vetro non sia un isolante termico, e quindi disperda una grande quantità di calore, pur tuttavia lo spazio vetrato non si raffredda rapidamente, almeno durante il giorno, perché gli oggetti presenti al suo interno, irradiando nuovamente il calore, ma non con la lunghezza d'onda superiore a quelle per cui il vetro risulta trasparente, non ne consentono la fuoriuscita dalle pareti vetrate, intrappolandolo letteralmente nello spazio chiuso.

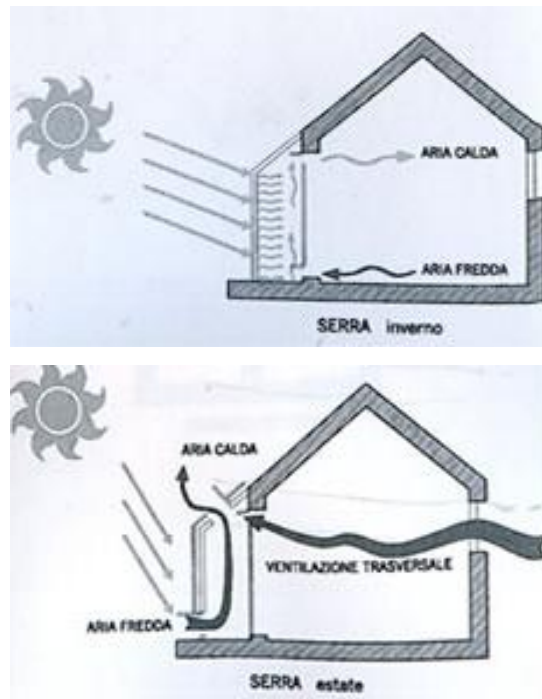


fig. 2.1 - Schema delle effetto serra

L'effetto camino (fig.2.2) si verifica in uno spazio racchiuso da un volume stretto e lungo quando si creano differenze di temperatura tali da permettere una stratificazione termica nello spazio stesso; in genere l'apertura superiore del camino consente l'uscita dell'aria calda, che essendo appunto a temperatura più elevata e quindi più leggera tende a salire: tuttavia l'estrazione verso l'esterno dell'aria calda crea depressione forte all'interno del cunicolo, o del camino, che favorisce il movimento di altre masse d'aria verso l'alto, benché a temperature più basse, perché provenienti dagli strati inferiori che spesso non sono soleggiati e che si raffreddano anche per conduzione e convezione con gli spazi a contatto con il terreno fresco. Questo tiraggio dell'aria evidentemente crea un abbassamento delle temperature

all'interno dell'ambiente, che di conseguenza funziona come un vero e proprio sistema di raffreddamento passivo per l'estate.

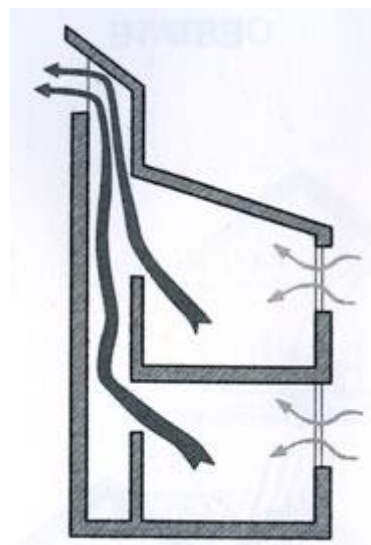


fig.2.2- Schema dell'effetto camino

La trasparenza (fig. 2.3) di alcuni materiali alla luce dipende dal coefficiente di trasmissione, cioè dalla capacità di un materiale di lasciarsi attraversare dalla luce, espresso in percentuale sulla quantità totale di luce incidente, mentre la parte rimanente viene riflessa o assorbita. Alcuni materiali non permettono affatto il passaggio di luce, e vengono perciò detti opachi; ma la trasparenza dipende anche dallo spessore dell'elemento stesso: lo stesso vetro, che è il materiale trasparente per eccellenza, quando presenta uno spessore elevato, registra un coefficiente di trasmissione luminosa limitato. Il fenomeno della trasparenza consente lo sfruttamento delle radiazioni luminose del sole per diversi scopi: ad esempio i materiali isolanti trasparenti consentono

l'attraversamento alle radiazioni luminose del sole pur conservando una certa trasmittanza termica.



fig. 2.3 - Schema del sistema con trasparenza

Infine, il fenomeno dell'inerzia termica (fig. 2.4) si verifica in condizioni particolari, in presenza cioè di un sistema per l'involucro, un muro esterno o una copertura, che presenti particolari caratteristiche, tra cui elevato spessore, specifiche dimensioni e adeguata posizione rispetto agli altri elementi della costruzione, un determinato trattamento superficiale, e soprattutto una proprietà insita nei materiali impiegati, ovvero la capacità termica del materiale di conservare una certa quantità di calore al suo interno, senza trasmetterla immediatamente agli strati a contatto; in questo modo il sistema acquisisce un potere di accumulo termico elevato che gli consente di trasmettere calore agli ambienti interni anche con lungo ritardo rispetto all'emissione della fonte solare esterna, cioè la notte.

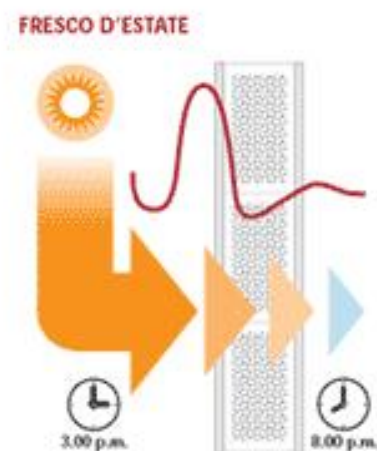


fig. 2.4 - Schema del sistema con inerzia termica

2.2 Sistemi utilizzati nell'architettura bioclimatica

I criteri di progettazione bioclimatica riguardano, come già detto, il contenimento dei consumi energetici degli edifici, questi sono prevalentemente ottenibili attraverso la conservazione dell'energia termica con sistemi solare passivo (diretti, indiretti ed isolati) e attivi, la ventilazione con l'adozione di sistemi di ventilazione naturale e l'illuminazione con adeguati sistemi di illuminazione naturale (fig.2.5).



fig. 2.5 – Sistemi bioclimatici

2.3 Sistemi solari passivi

I sistemi solari passivi (fig.2.6), privi di autonomia energetica e di congegni meccanici, risultano integrati con la costruzione, non trattandosi di strutture isolate e indipendenti dalle soluzioni tecnologiche dell'architettura. Sono di tipo diverso e ciascuno con proprie specifiche caratteristiche. Normalmente vengono divisi in tre categorie: a guadagno diretto, a guadagno indiretto e a guadagno isolato.



fig. 2.6 – Sistema solare passivo a guadagno diretto: lucernario

2.3.1 Sistemi solari passivi a guadagno diretto

Sono *a guadagno diretto* (fig. 2.7) quei sistemi in cui l'energia radiante penetra direttamente nell'ambiente che si vuole riscaldare, viene accumulata da elementi che svolgono altre funzioni (pareti, pavimenti, ecc.) e riceduta per convezione o irraggiamento all'intero edificio. Pertanto è conveniente che l'isolamento sia posto all'esterno delle superfici murarie, in modo che queste

agiscano come volano termico all'interno. Tra questi sistemi si ricordano l'atrio, le serre, i materiali trasparenti isolanti (TIM), ecc.

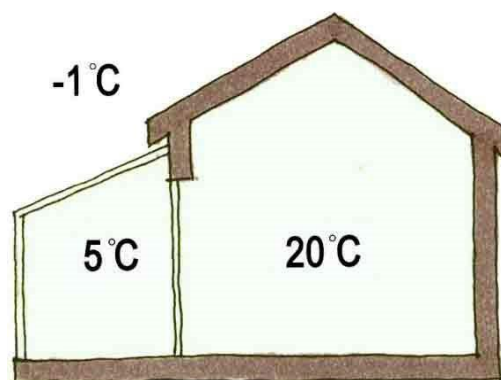


fig. 2.7 - Sistema solare passivo a guadagno diretto: serra

2.3.1.1 Atrio

Un atrio (fig. 2.8), ambiente la cui tradizione funzionale è quella di zona filtro per il passaggio e la distribuzione delle diverse attività di un grande edificio pubblico, quando assume considerevole ampiezza ed è coperto da una grande vetrata, può essere considerato come sistema solare passivo a guadagno diretto, purché vengano impiegati particolari accorgimenti di adattamento alle esigenze del risparmio energetico, come la verifica che al suo interno ci siano i fenomeni dell'effetto serra in inverno e dell'effetto camino durante l'estate: queste condizioni, infatti, sono determinanti affinché con un piccolo impianto ausiliario si riesca ad ottenere un buon livello di comfort. L'effetto serra che si genera all'interno garantisce il funzionamento invernale dell'atrio: la presenza delle ampie superfici vetrate sulla copertura e in posizione orizzontale ne assicura la capacità di captare elevati livelli di radiazione solare durante l'intero corso dell'anno, mantenendo le temperature più elevate, mentre le dispersioni termiche dall'involucro dell'edificio, a contatto con lo spazio

vetrato, si riducono. Lo stesso ambiente può essere considerato come un esterno climatizzato, e perciò tiepido e protetto dalla pioggia.

Il funzionamento estivo è più complesso, richiedendo l'impiego di alcune misure di controllo: l'effetto serra va evitato, per mezzo di sistemi di ombreggiamento, che riducano alla fonte l'ingresso della luce e del calore dalle vetrate, e di aperture per la ventilazione; d'altra parte il verificarsi dell'effetto camino contribuisce a rinfrescare l'ambiente, purché vengano realizzate apposite aperture alla base e alla sommità, e che venga studiata la configurazione più idonea a un buon funzionamento.

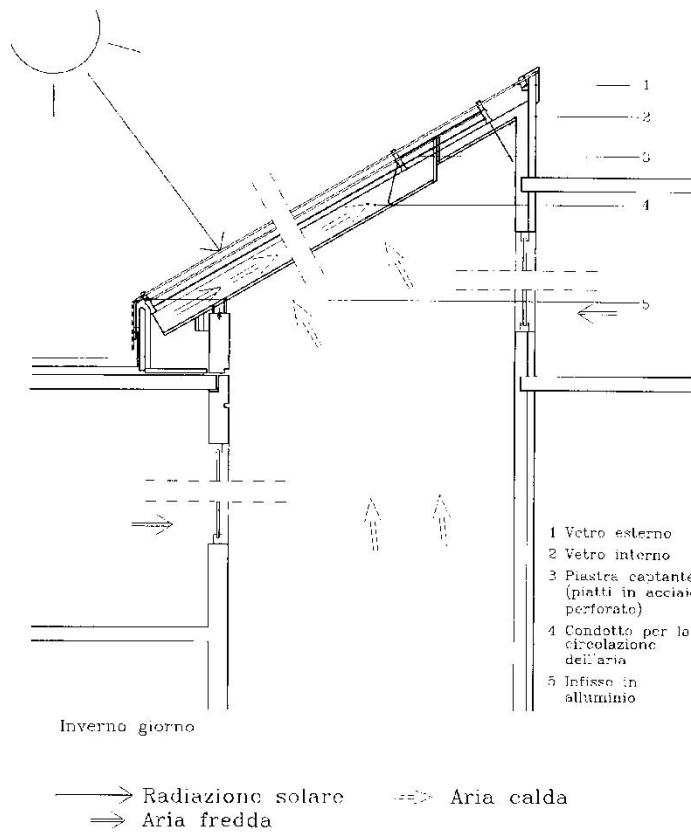


fig.2.8 - Schema dell'atrio

L'atrio (fig. 2.9), benché si presenti come una delle forme più comuni nei progetti per edifici non residenziali, non sempre assicura la sua funzionalità e corrette prestazioni ambientali: la sua stessa definizione è incerta, se quella di uno spazio intermedio tra l'interno e l'esterno, o di una grande sala illuminata dall'alto. Inoltre, la difficoltà nel gestire tali spazi dalle elevate dispersioni termiche e dagli ampi guadagni solari, e la mancata conoscenza dell'effetto della stratificazione termica che si estende dall'ampio pavimento fino all'altezza della copertura, inducono talvolta il progettista ad optare per soluzioni più controllabili.



fig.2.9 - Giardino d'inverno del quartiere Savonarola
Padova - Marco Sala

2.3.1.2 Serra

Il sistema è costituito da uno spazio chiuso separato dall'ambiente esterno mediante due o più pareti vetrate e una o due opache, o anche trasparenti, eventualmente apribili, che lo collegano alla costruzione di cui fa parte; la copertura può essere vetrata o opaca a seconda delle latitudini e delle esigenze termiche; esigenze che contribuiscono a definire le diverse posizioni relative della casa e della sua serra. La tipologia varia, distinguendosi in serre addossate (fig. 2.10), accostate o separate quando siano rispettivamente unite all'ambiente da riscaldare, semplicemente vicine o lontane.

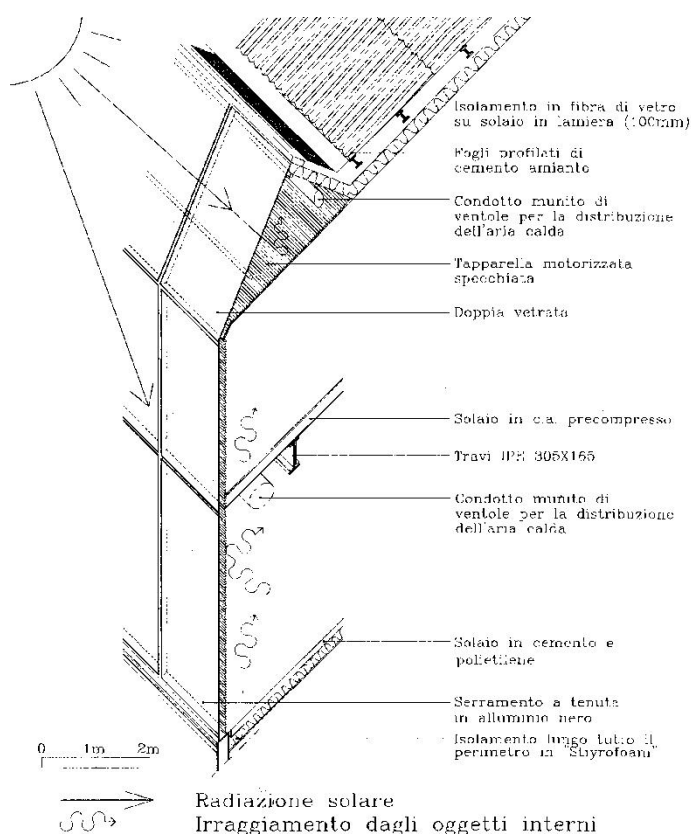


fig.2.10- Schema di serra

La funzione di captazione e di accumulo di energia, sotto forma di calore, viene esercitata essenzialmente dall'effetto serra che grazie ad un sistema secondario di accumulo, riesce a fornire riscaldamento gratuito all'abitazione. Le diverse tipologie di serre progettate e realizzate, seguono criteri diversi anche per la distribuzione interna degli spazi, in relazione appunto al sistema di accumulo, ai tipi di forme e dimensioni della serra stessa, all'altezza del vano vetrato, al rapporto con l'edificio cui sono associate, rispetto al quale sono talvolta totalmente integrate tanto da non distinguersi dall'involucro esterno.

2.3.1.3 Transparent Insulation System

L'isolamento trasparente (fig.2.11) è uno dei sistemi più semplici per captare l'energia solare e utilizzarla per il riscaldamento ambientale. Si tratta di disporre ampie superfici vetrate sulle facciate rivolte a sud e isolare tutte le pareti cieche, in particolare quelle rivolte a nord. Le radiazioni solari penetrano attraverso le superfici vetrate nell'ambiente interno e qui vengono trattenute per effetto serra ed assorbite da tutti i corpi presenti.

Per questi sistemi è opportuna l'adozione di un materiale che unisca le prestazioni di trasparenza e di isolamento termico, il cosiddetto TIM (Transparent Insulation Material). I materiali prevalentemente impiegati per la costruzione di tali sistemi sono costituiti, per la tipologia stratificata, da sostanze artificiali sintetizzate in laboratorio chimico e di origine fossile, come policarbonati, plastiche o acrilici, e per la tipologia porosa in aerogel di diossina silicea.

A favore di questo sistema passivo è la notevole semplicità di funzionamento e l'immagine sufficientemente tradizionale che favoriscono la sua accettazione da parte dell'utente medio.

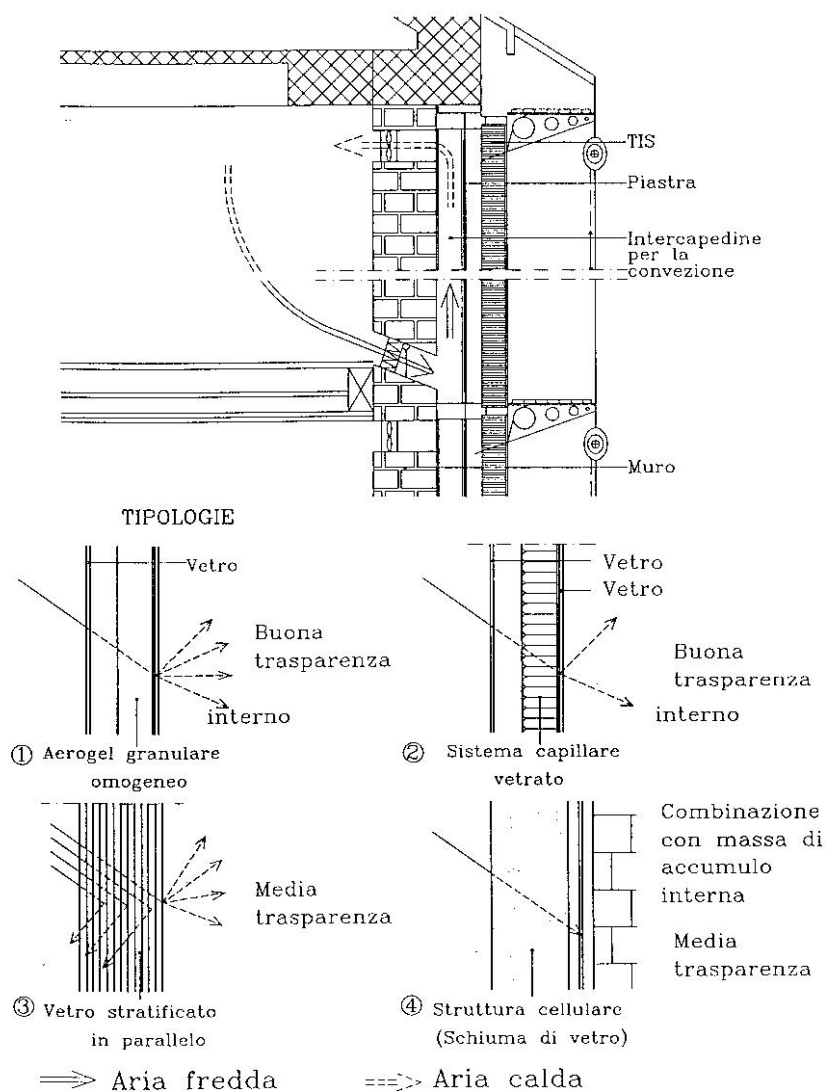


fig. 2. 11 - Schema dell' isolamento trasparente

2.3.2 Sistemi solari passivi a guadagno indiretto

Nei sistemi *a guadagno indiretto* (fig. 2.12) l'accumulatore fa parte dell'involucro e riceve direttamente la radiazione solare per poi ricederla all'interno sotto forma di energia termica. Dunque, la radiazione non raggiunge direttamente i locali da riscaldare, ma viene intercettata dal collettore e dall'assorbitore, dai quali viene trasformata in calore e trasmessa per irraggiamento e convezione agli ambienti, con un ritardo di alcune ore. Nell'ambito di questa categoria si possono comprendere i muri Trombe-Michelle, i Roof Pond, i pozzi solari, i muri a diodo, il sistema a doppia pelle, ecc.

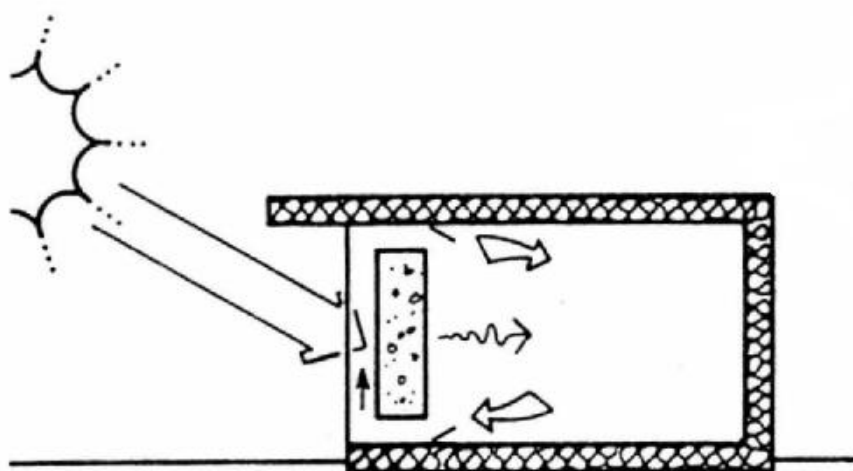


fig. 2.12 - Sistema solare passivo a guadagno indiretto:
muro Trombe-Michelle

2.3.2.1 Muro Trombe - Michelle

E' costituito da una parete massiccia, dipinta di scuro, che costituisce l'elemento di assorbimento e accumulo, da una parete vetrata, il collettore, che intrappola le radiazioni solari.

Il sistema(fig. 2.13) funziona grazie all'effetto serra creato all'interno della cavità prevista tra il sistema vetrato, con una o due lastre di vetro, e il muro. Il calore, così prodotto, viene trasmesso all'interno degli spazi abitati secondo due modalità, attraverso una serie di fessure aperte nelle zone superiore ed inferiore del muro che generano una circolazione termosifonica determinata da moti convettivi dell'aria, la quale, riscaldata dall'effetto serra, sale verso la bocchetta superiore entrando negli ambienti e uscendone raffreddata, e quindi appesantita, dalle aperture inferiori; ma successivamente, fuoriesce per convezione e irraggiamento dalla superficie interna del muro, grazie all'inerzia termica del muro stesso.

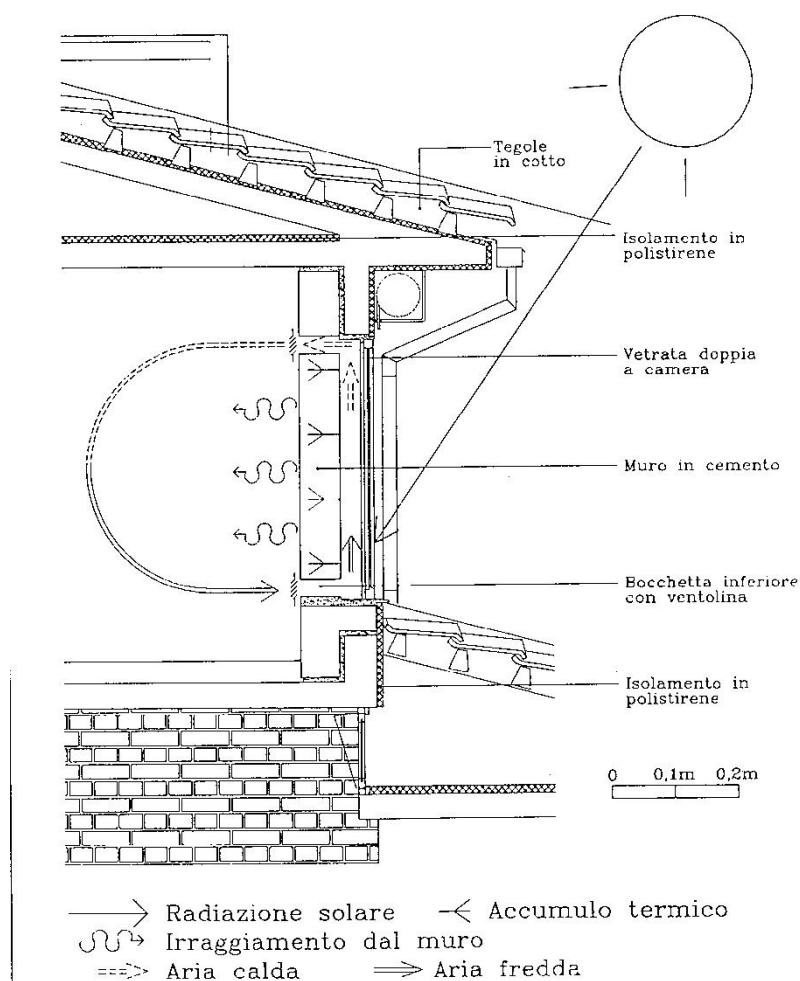


fig. 2.13 - Schema del muro Trombe - Michelle

Una variante è quella dei muri Trombe - Michelle ad acqua, nei quali si sostituisce la parete massiccia con una massa d'acqua con funzionamento analogo. E' evidente che questo può accadere solo quando ci sia una struttura a telaio portante e non ci sia la necessità di avere un tamponamento di tipo murario. La capacità termica dell'acqua è superiore a quella dei materiali

utilizzati per le murature, con conseguente maggiore accumulo di calore e una maggiore rapidità nell'entrare in stato di regime. Esistono anche sistemi privi di termocircolazione, e quindi "non ventilati" che sfruttano soltanto l'inerzia termica del muro e la captazione del vetro.

In generale, una o più pareti di questo tipo vengono esposte a sud o ad ovest, poiché tale orientamento consente loro di convertire in calore la maggior quantità di energia radiante del sole attraverso il preriscaldamento dell'aria contenuta nell'intercapedine.

Non sempre il muro Trombe - Michelle dà apporti energetici molto rilevanti, ma ciò è bilanciato da costi realizzativi contenuti, considerando che la parete accumulatore costituisce la struttura di tamponamento dell'edificio ed è quindi un elemento da non computare nelle spese supplementari. L'apertura e la chiusura dei tegli di aerazione, nel muro e nella vetrata, sono operazioni intuitive che abbastanza facilmente possono entrare nelle abitudini comportamentali dell'utente, così come si aprono e si chiudono le finestre.

Particolare attenzione va posta al risultato estetico, decisamente non tradizionale, creato da queste superfici vetrate con retrostanti muri scuri.

2.3.2.2 Parete ad accumulo

E' un sistema (fig. 2.14) simile al muro Trombe- Michelle che non prevede aperture di comunicazione tra intercapedine vetrata e ambiente interno. Si ottengono così rendimenti minori, ma si evitano anche i problemi relativi ai moti convettivi inversi in estate.

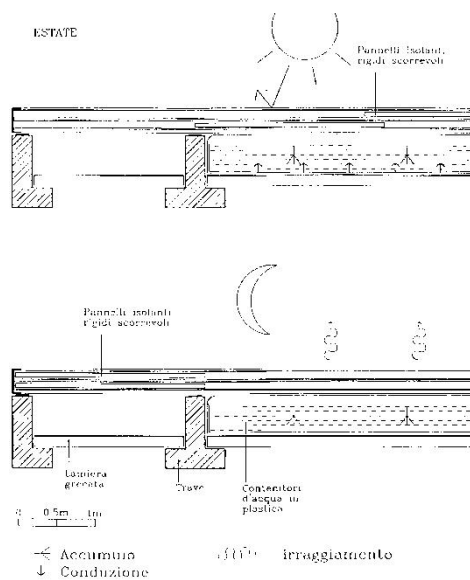


fig. 2.15.1 - Schema del roof pond
(funzionamento estivo)

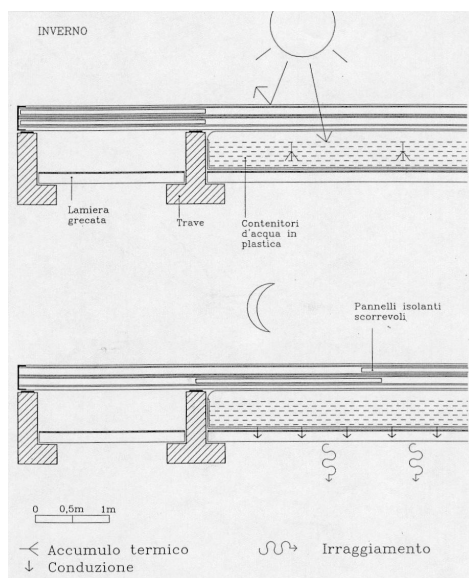


fig. 2.15.2 - Schema del roof pond
(funzionamento invernale)

Nei sistemi più moderni l'acqua è contenuta in ampie buste trasparenti di polietilene, che ne limitano l'evaporazione, ne mantengono inalterate le proprietà fisiche ed evitano l'attacco degli organismi viventi. La stessa acqua, una volta riscaldata dal sole durante il giorno, trasmette il calore alla piastra metallica che funge da solaio del piano sottostante, mentre una struttura di pannelli rigidi scorrevoli per l'isolamento notturno assicura la robustezza e la facilità d'uso. Questo sistema sembra adeguato solo alle esigenze degli alloggi posti sotto la copertura e, inoltre, alle nostre latitudini non è molto efficace, essendo maggiore l'irraggiamento solare invernale sulle superfici verticali che su quelle orizzontali.

2.3.2.4 Pozzo solare

Un elemento di captazione viene posizionato in copertura. Delle superfici riflettenti vengono disposte in modo da trasmettere le radiazioni solari verso il basso, sino agli elementi assorbitori, cioè le pareti di accumulo.

Questo sistema (fig.2.16) non può essere impiegato per edifici molto alti per l'aumento esponenziale della spesa di realizzazione difficilmente ammortizzabile nel tempo.

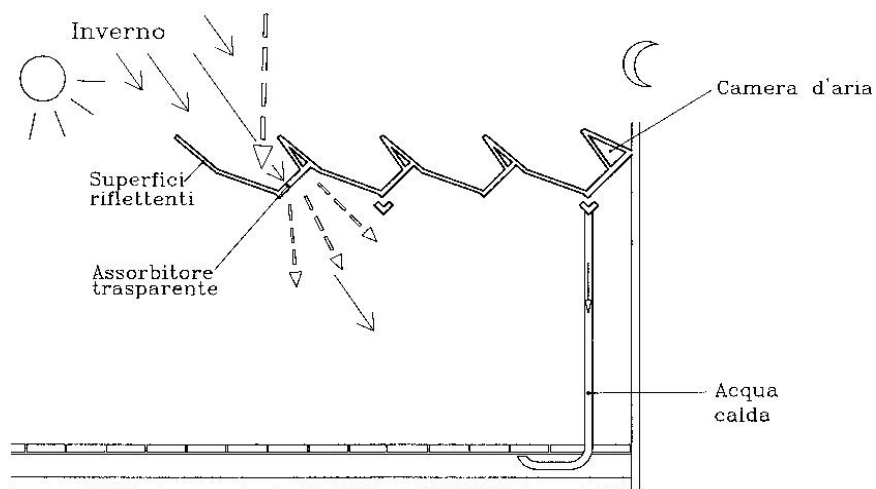
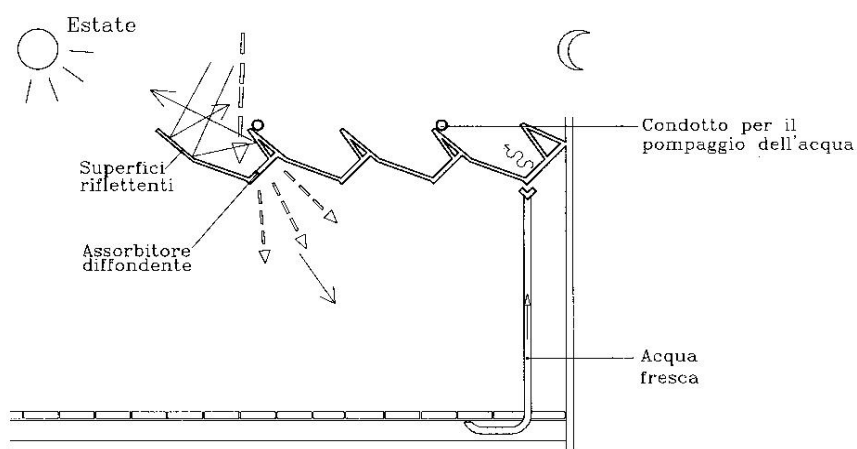


fig. 2.16.1 - Schema del pozzo solare (funzionamento invernale)



———> Radiazione solare diretta
 ~~~~~> Irraggiamento    - - - -> Radiazione diffusa

fig. 2.16.2 - Schema del pozzo solare (funzionamento estivo)

### 2.3.2.5 Muro a diodo

Il sistema del muro a diodo (fig.2.17), adottato come parete esterna, comprende una superficie vetrata dietro la quale un'intercapedine d'aria è a contatto con uno strato sottile di materiale assorbitore, in genere una piastra di metallo scuro, al cui interno è inserito uno strato di isolante termico, segue una seconda intercapedine, collegata alla precedente a mezzo di fessure alla sommità e alla base, separata dall'interno del locale mediante due strati di maggior spessore, l'uno che consente l'accumulo termico e l'altro con funzione protettiva di chiusura.

Durante le ore diurne, attraverso una membrana, l'aria penetra nella prima intercapedine e si riscalda a contatto con la piastra assorbente e per convezione naturale si muove verso l'alto per poi entrare nell'intercapedine interna attraverso un'altra membrana; così riscaldata, l'aria cede calore al sistema di accumulo e, scendendo, si immette nell'ambiente da riscaldare spintala una ventola.

Durante la notte vengono chiuse tutte le membrane e l'aria, che può circolare solo tra l'intercapedine più interna e la stanza, acquista calore dal sistema di accumulo e, spinta dalla ventola verso l'ambiente abitato, contribuisce a mantenervi la temperatura ideale.

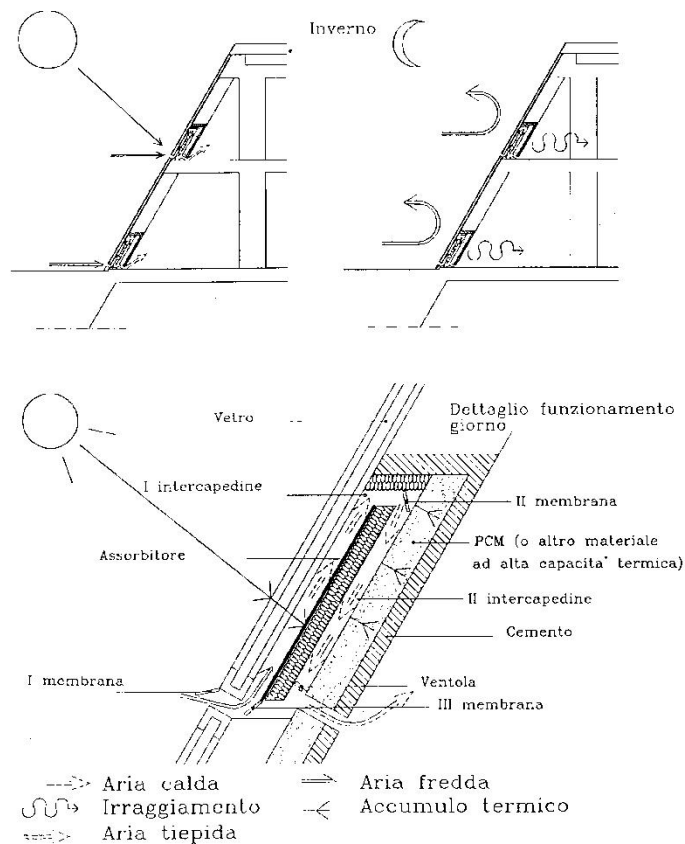


fig.2.17 - Schema del muro a diodo ( funzionamento invernale)

### 2.3.2.6 Sistema a doppia pelle

E' costituito da una parete altamente isolata con due diversi strati di componenti e da un'intercapedine d'aria (fig. 2.18): non si tratta di una doppia parete, né di una facciata ventilata, ma di una seconda parete che funziona come vero e proprio riparo dalle condizioni esterne allo strato di parete più interno. Consente un migliore isolamento poiché funziona come cappotto posto all'esterno dell'involucro, da cui è separato per mezzo di un'ampia zona vuota. Si comporta come una parete ventilata con la differenza che in questo

sistema non si verifica l'effetto camino, ma l'aria riscaldata dal sole durante le giornate estive, viene utilizzata per riscaldare gli ambienti interni durante la notte. In inverno la doppia pelle funziona come sistema ad elevata inerzia termica, generando accumulo interno ed un conseguente ritardo nella trasmissione del calore.

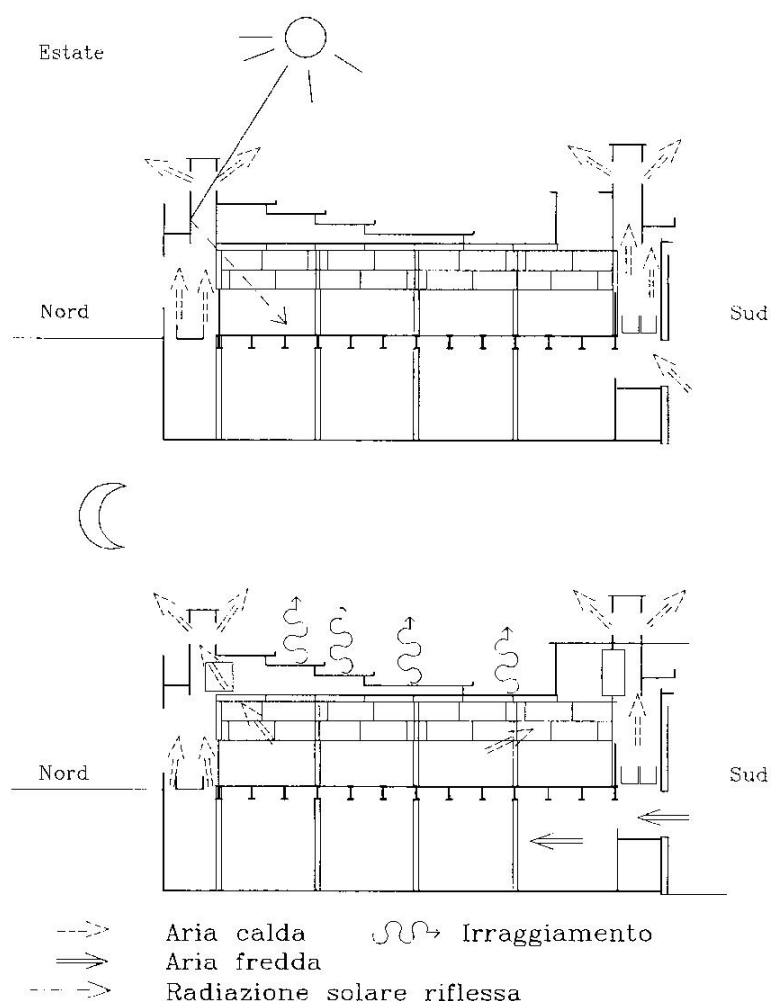


fig. 2.18 - Schema del sistema a doppia pelle



### 2.3.3 Sistemi solari passivi a guadagno isolato

Nei sistemi a guadagno isolato (fig. 2.19) la captazione e la cessione di energia solare avvengono attraverso componenti indipendenti collocati all'esterno dell'edificio che possono anche essere separati da questo; il trasporto del calore avviene con fluidi, generalmente aria, che si muovono in appositi spazi dotati di dispositivi di regolazione e controllo. L'elemento di accumulo si trova in prossimità della superficie vetrata e risulta privo di isolante. Tutto ciò implica notevoli dispersioni, verso l'esterno in inverno e verso l'interno in estate. Sono a guadagno isolato i sistemi Barra-Costantini, i collettori ad aria con letto di pietre, ecc.

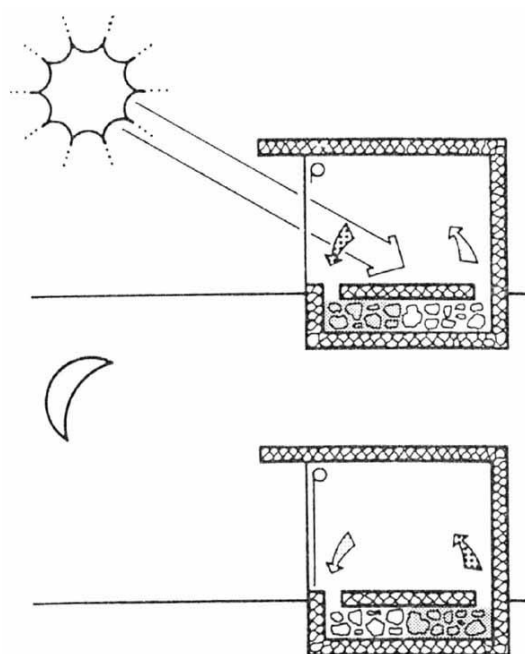


fig. 2.19 - Sistema solare passivo a guadagno isolato:  
sistema Barra - Costantini

### 2.3.3.1 Sistema Barra - Costantini

Consiste in un camino solare, diversi condotti di percorrenza dell'aria calda e fredda e alcune aperture nell'ambiente da riscaldare situate sul soffitto e nelle zone basse delle pareti a sud. Il camino solare è costituito da uno strato di vetro sulla parete a sud, un'intercapedine d'aria, una lastra metallica scura che funziona da assorbitore, e una seconda intercapedine d'aria sul fronte del muro di contatto con l'ambiente interno, molto spesso e ben isolato.

Il sistema (fig. 2.20 ) si è dimostrato affidabile, efficace e confortevole, poiché, grazie ad un adeguato controllo dei componenti solari (assorbitori, captatori e convertitori di energia, e accumulatori), e delle tecniche di isolamento termico, l'edificio consente una notevole riduzione dei consumi energetici, proprio in virtù della logica delle modalità costruttive e configurative. Inoltre, il comportamento di una costruzione che impiega il Barra - Costantini può favorire un miglioramento delle condizioni di comfort anche in estate.

Durante le giornate invernali l'aria che lambisce entrambe le facce dell'assorbitore metallico si riscalda, e quindi per convezione sale verso il condotto posto in alto dove trasmette il calore al sistema di accumulo, situato nella copertura; durante la notte, attraverso le aperture del soffitto, l'aria penetra all'interno e raffreddandosi scende incanalandosi nelle aperture inferiori del muro a sud, da dove viene convogliata nel camino solare e quindi riscaldata dall'assorbitore, così riprende il ciclo.

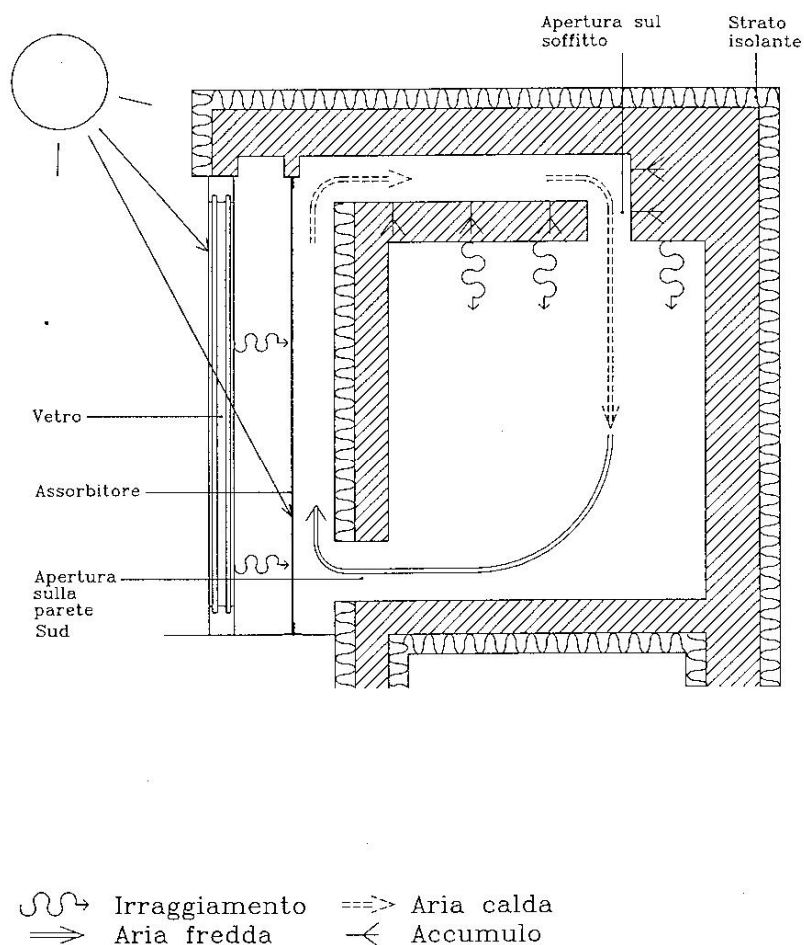


fig. 2.20 - Schema del sistema Barra-Costantini

### 2.3.3.2 Rock bed (collettore ad aria con letto di pietre)

Il letto di pietre (fig. 2.21) è un sistema per l'accumulo termico realizzato a mezzo di una scatola isolata, che sfrutta la capacità termica delle pietre, in essa contenute: un fluido, generalmente aria, attraversando gli interstizi vi immette o ne rimuove il calore, consentendone una conservazione prolungata

e la successiva redistribuzione ancora per mezzo dell'aria. Questi fenomeni di movimento dell'aria richiedono una minima fluttuazione di temperatura, e dunque ne è sconsigliabile l'installazione negli ambienti di soggiorno, potendo funzionare efficacemente solo restando separato dagli spazi abitabili e quindi collocato sotto il pavimento o dietro una parete.

Il funzionamento del rock bed si basa principalmente sul fenomeno della stratificazione termica: l'aria viene riscaldata dai sistemi di captazione, in genere una serra o un collettore solare, entra attraverso i condotti di ingresso, e cede calore all'ampia superficie pietrosa esposta, e mentre gradualmente il fronte di temperatura progredisce attraverso il letto lo riscalda a lungo fino all'uscita.

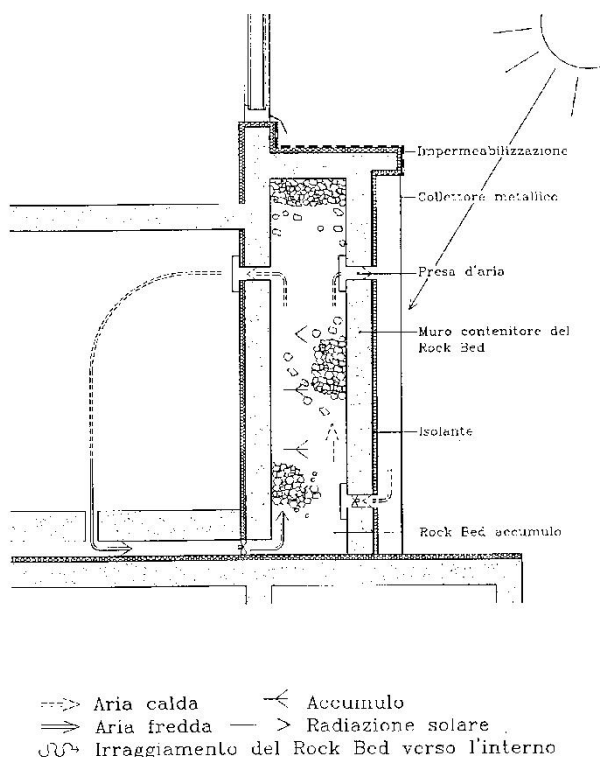


fig.2.21 - Schema del rock bed

Un rock bed può agire anche come sistema attivo, se utilizza ventole per direzionare l'aria: il contenitore in tal caso, sia esso in cemento, in pietra o in legno, per evitare la cessione di calore al terreno, deve essere a tenuta d'aria e di media conduttanza su quei lati non a contatto con la zona abitabile.

Il controllo del sistema viene operato a mezzo di un termostato, mentre il dimensionamento è strettamente dipendente dal volume della scatola e dall'efficienza delle ventole.

## 2.4 Sistemi solari attivi

Un sistema solare attivo(fig. 2.22) è legato fundamentalmente alla presenza di impianti meccanici deputati alla captazione, all'accumulo e alla distribuzione dell'energia termica, che svolgono le loro funzioni in maniera anche indipendente dal sistema costruttivo vero e proprio. Fanno parte di questa categoria i sistemi con collettore solare, i fotovoltaici, ecc.



fig. 2.22 - Pannelli solari e pannelli fotovoltaici

### 2.4.1 Collettore solare

Il collettore solare( fig. 2.23 ) posto sulla superficie di copertura dell'edificio, viene associato ad un distributore di calore, attraverso circuiti integrati nella struttura stessa e deputati alla circolazione del fluido di accumulo.

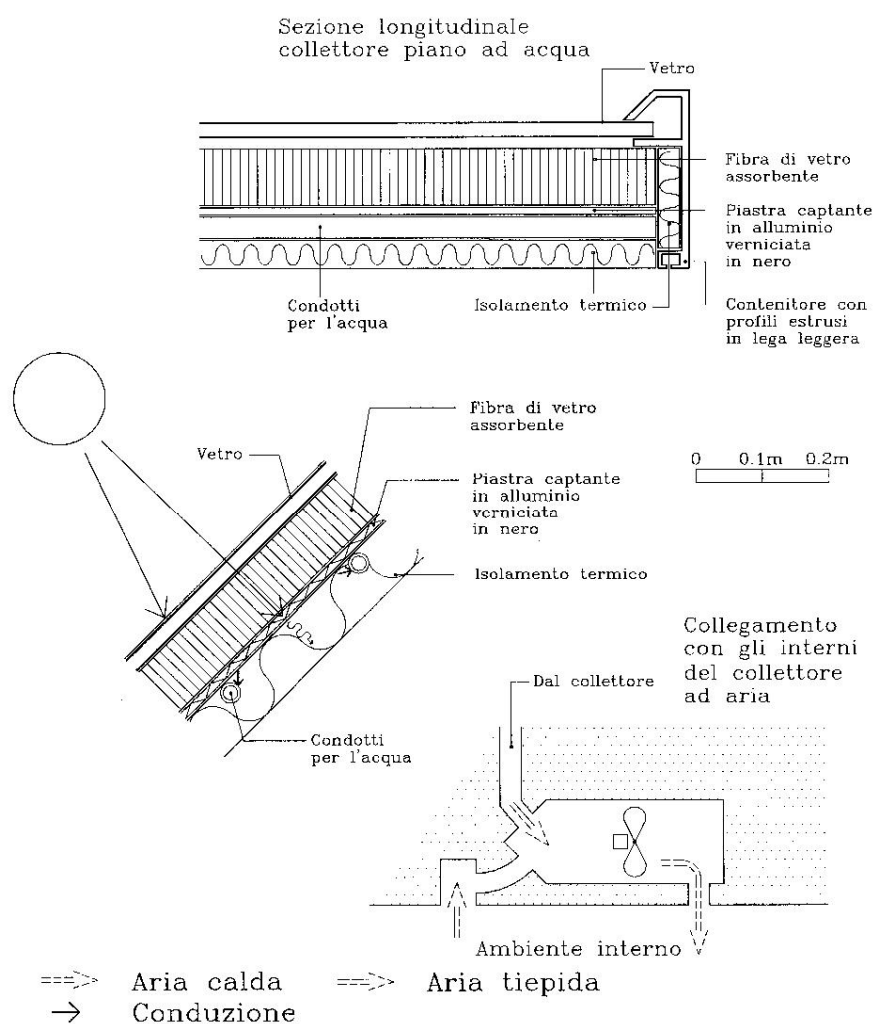


fig. 2.23 - Schema del collettore solare

Il collettore piano, detto comunemente pannello solare, svolge un ruolo specifico di captazione dell'energia sia attraverso la radiazione solare diretta che quella diffusa. Una lastra, singola o doppia, di vetro o altro materiale trasparente alle radiazioni costituisce un primo strato esposto al sole dietro al quale una serie di condotti o passaggi sono destinati a convogliare il fluido termovettore verso l'esterno, mentre una o più lastre di metallo corrugate o lisce funzionano da assorbitori, uno strato isolante riduce le dispersioni termiche dalle zone posteriori e laterali del collettore. Tutto ciò è racchiuso in un contenitore che protegge l'intero complesso dalla polvere e dall'umidità.

La superficie trasparente concentra la radiazione solare verso il collettore, trasmettendola all'interno dell'intercapedine, dove, per effetto serra, riscalda la piastra che a sua volta riscalda il fluido termovettore. Le proprietà di assorbimento della superficie alle radiazioni solari ad onda corta dipendono dalla natura e dal colore del rivestimento e dall'angolo di incidenza dei raggi. Quando l'angolo è minimo si ha un assorbimento massimo e viceversa.

Gli impianti a pannelli solari possono essere essenzialmente di 2 tipi: a circolazione naturale e a circolazione forzata.

Gli impianti solari a circolazione naturale (fig. 2.24) sono sistemi monoblocco a circuito chiuso, che funzionano senza necessità di pompe né di componenti elettrici. Sono costituiti da un collettore solare (piano o a tubi sottovuoto) esposto alle radiazioni solari, all'interno del quale l'acqua si scalda e sale per convezione (effetto termosifone) verso il serbatoio, conflueno quindi nel circuito domestico.





fig. 2.24 - Impianto solare termico a circolazione naturale

Negli impianti solari a circolazione forzata (fig.2.25) il serbatoio è montato separatamente (nel sottotetto o nel locale caldaia) ed il liquido del circuito primario è spinto da una pompa. La pompa di circolazione viene messa in moto da una centralina elettronica che confronta le temperature dei collettori e dell'acqua nel serbatoio di accumulo rilevata da apposite sonde.



fig. 2.25- Impianto solare termico a circolazione forzata

I componenti principali di un sistema a pannelli solari (fig.2.26) sono:

- il **pannello solare** vero e proprio, che trasferisce il calore assorbito dal sole all'acqua del serbatoio e permette di produrre quindi acqua calda,
- il **serbatoio di accumulo** dell'acqua calda
- (nei sistemi a circolazione forzata) una **pompa** per la circolazione dell'acqua e una **centralina elettronica**
- i collegamenti idraulici ed elettrici.

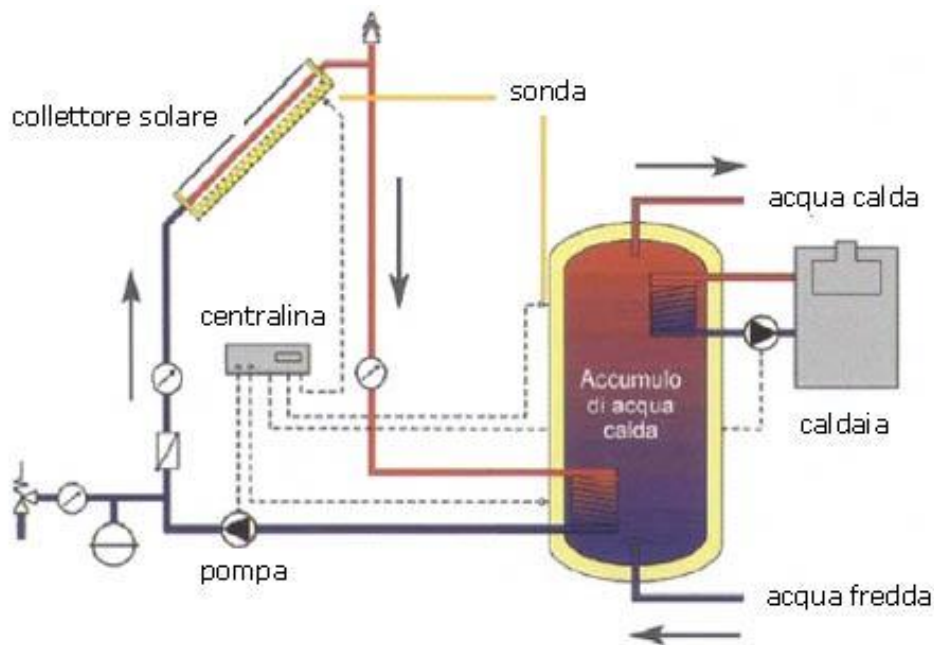


Fig. 2.26 - Schema tipo di impianto solare termico a circolazione forzata

#### 2.4.2 Sistema fotovoltaico

Il sistema impiega celle fotovoltaiche (fig.2.27) in cui è presente il silicio, l'elemento chimico più diffuso in natura dopo l'ossigeno.

Il funzionamento è garantito dall'energia proveniente dal sole, sotto forma di radiazioni elettromagnetiche, convertita attraverso complessi circuiti, in

energia elettrica. L'efficienza della conversione fotovoltaica, che avviene per effetto dei quanti fotovoltaici presenti nei semiconduttori, non dipende dalla dimensione, poiché l'impianto consta di un certo numero di moduli di celle che ne consentono una vasta gamma di dimensioni e applicazioni, tutte portatrici di uguale capacità di conversione e analoga tecnologia.

La potenza elettrica degli impianti fotovoltaici è proporzionale all'irraggiamento solare della superficie delle celle, mentre altri fattori che ne influenzano il rendimento sono l'ombreggiamento, la temperatura e la polvere depositata sulle celle, l'angolo di incidenza dei raggi solari e la distribuzione spettrale dell'irraggiamento.

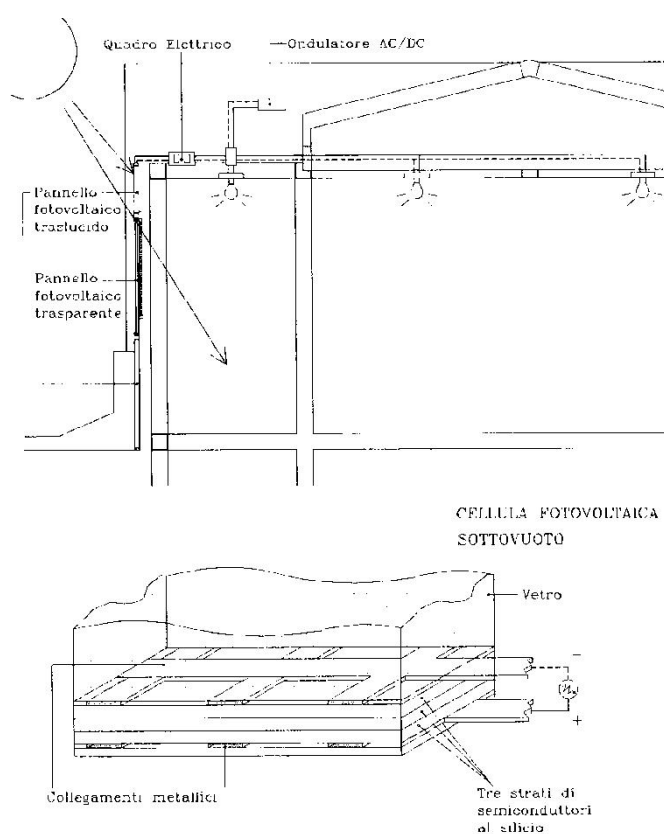


fig. 2.27 -Schema delle celle fotovoltaiche

L'uso dei sistemi fotovoltaici appare particolarmente conveniente poiché, anche se l'efficienza di conversione è inferiore a quella di una stazione automatica o di un generatore di potenza, l'energia solare è gratuita e non inquinante.

## **2.5 Sistemi di ventilazione naturale**

Una casa climaticamente confortevole deve necessariamente presentare buone caratteristiche di qualità dell'aria. La ventilazione è uno degli elementi fondamentali per il controllo dell'umidità relativa dell'aria.

Spesso il moto convettivo dell'aria è il mezzo per portare il calore del sole sino alle zone più interne dell'edificio; ma, convezione significa movimento dell'aria e quindi ventilazione, ecco perché il guadagno termico solare e la ventilazione sono strettamente connessi.

Masse d'aria a differente temperatura hanno densità e pressione diverse. A minore temperatura corrisponde maggiore densità e questo fa sì che la massa d'aria più fresca stia in basso, ma tenda a spostarsi verso l'alto man mano che si scalda. Per la ventilazione l'effetto camino è molto importante perché può risolvere completamente il problema del ricambio d'aria. Si può sfruttare tale effetto semplicemente studiando la posizione delle aperture dell'edificio o stimolarlo con opportuni accorgimenti ( fig. 2.28) come la creazione di camini, torri del vento, pareti ventilate ecc.

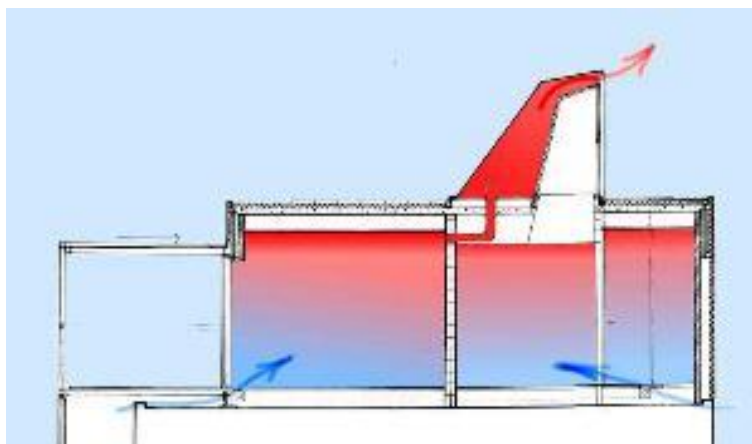


fig. 2.28 – Camino per la ventilazione

### 2.5.1 Ventilation chimney (Camino per la ventilazione)

Questo sistema (fig.2.29 ) si utilizza per innescare fenomeni convettivi. Si tratta di una costruzione a camera d'aria in posizione molto esposta al sole, in cui, per effetto serra, l'aria possa scaldarsi fortemente e, fuoriuscendo da aperture poste nella parte superiore, possa innescare un'aspirazione dell'aria dai locali interni a cui è collegata.

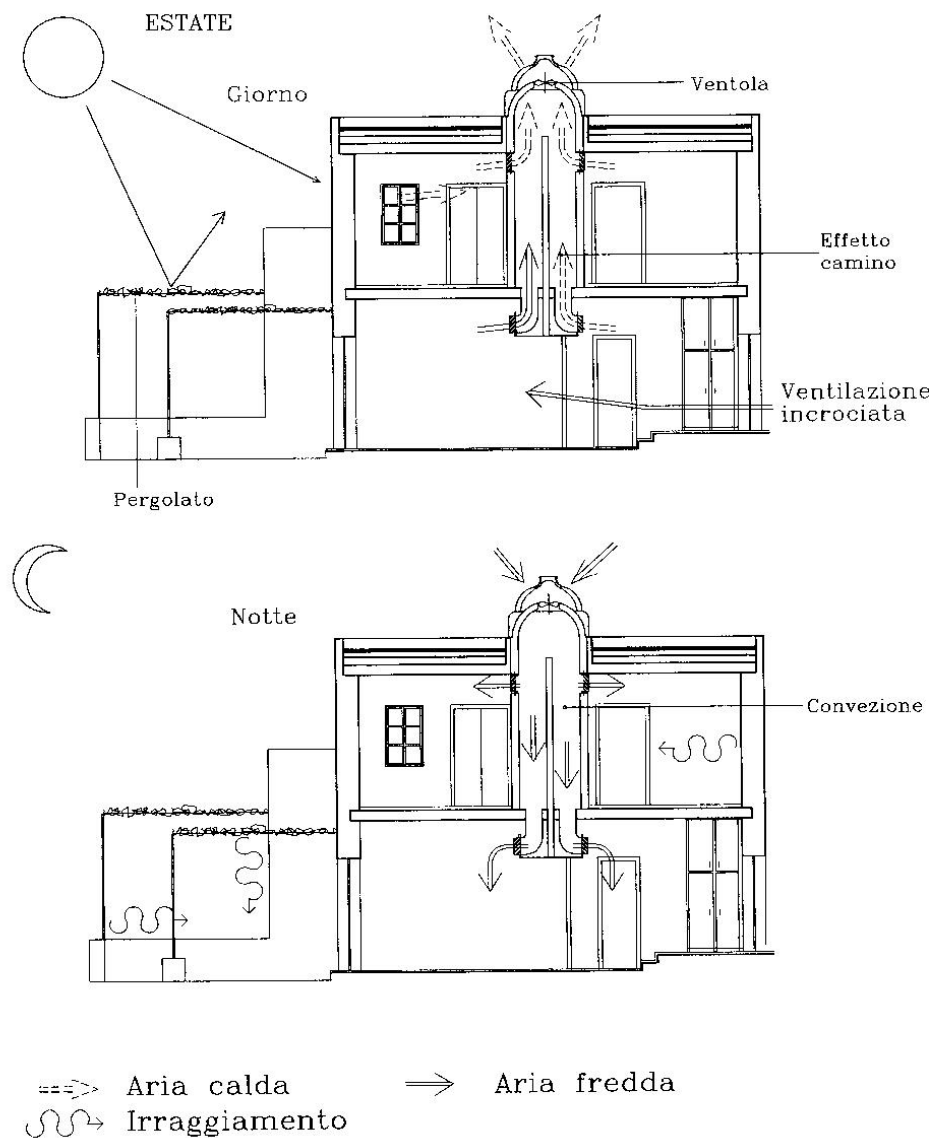


fig.2.29 - Schema del ventilation chimney

I parametri essenziali per il buon funzionamento di un camino per la ventilazione sono rappresentati dalle dimensioni e dalle caratteristiche tecniche delle valvole che convogliano l'aria, dalla lunghezza della superficie

utile al raffreddamento, e dalla temperatura del liquido impiegato per mantenere bagnata la superficie stessa.

Il camino solare può effettivamente avere la forma tipica di un camino, disposto verticalmente sui lati sud, est ed ovest. Il materiale costituente deve potersi scaldare facilmente, in modo da far alzare la temperatura dell'aria contenuta. Con il vetro si possono realizzare camini-serra, in cui è permessa sia la vista verso l'esterno che l'apporto luminoso agli ambienti collegati.

### **2.5.2 Torre del vento**

Il sistema delle torri del vento (fig.2.30) sfrutta diversi fenomeni derivanti dalla ventilazione naturale; in particolare la ventilazione estiva svolge tre funzioni principali, oltre a quella di migliorare la qualità dell'aria interna, poiché fornisce benessere termico, aumentando la dispersione termica corporea; raffredda le masse strutturali, grazie al rapido contatto con l'aria fresca notturna; e infine consente talvolta l'eliminazione dell'aria calda interna, sostituendola con quella esterna, la cui temperatura è inferiore a quella dell'involucro, che di notte reirradia l'energia solare accumulata.

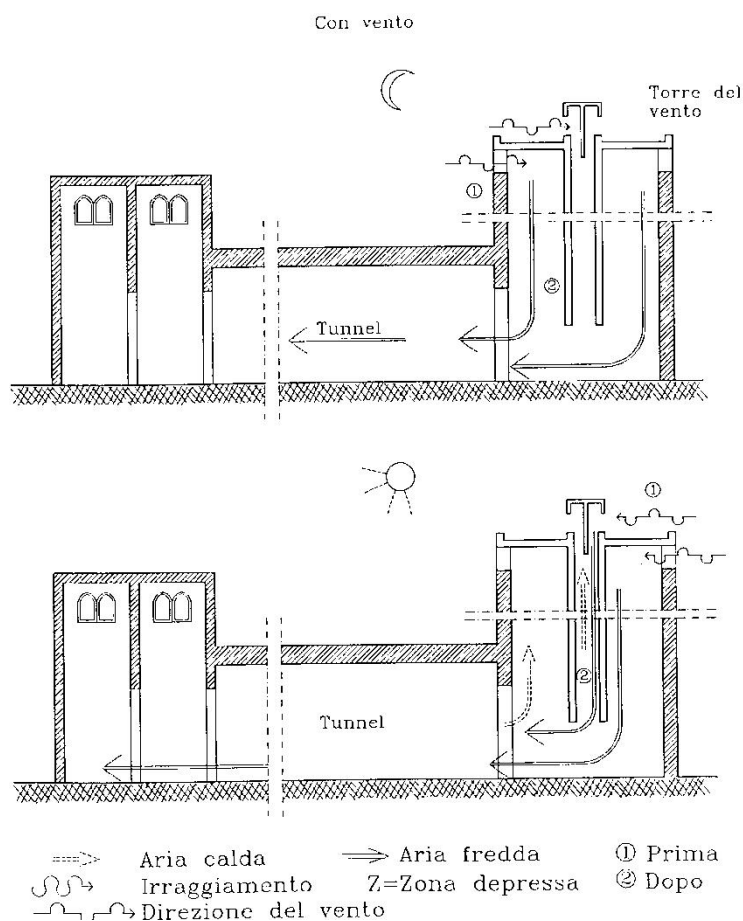


fig.2.30 - Schema della torre del vento con vento

Il funzionamento del sistema dipende evidentemente dalle condizioni esterne poiché durante la notte in assenza di vento, le sue pareti, riscaldate durante il giorno come in un camino, trasmettono per conduzione il calore all'aria fresca esterna; l'aria calda viene eliminata attraverso le aperture situate sulla parte alta poiché l'effetto camino della torre mantiene la circolazione dell'aria ambientale nell'edificio e rinfresca le strutture, compresa la torre stessa, che così fornisce un ulteriore raffrescamento notturno grazie alla radiazione





Le prestazioni di una torre del vento dipendono evidentemente dall'altezza, dalla configurazione planimetrica, dall'orientamento della torre e dalla localizzazione delle aperture superiori. Il vantaggio nell'uso di tali sistemi è quello della qualità dell'aria che, captata dall'alto, è più pulita, e inoltre non oppone ostacoli alla direzione del vento; tuttavia la torre è idonea al solo raffrescamento estivo e inoltre non offre alcuna validità in regioni con venti molto deboli.

### **2.5.3 Parete ventilata**

Un sistema volto a evitare il surriscaldamento dell'edificio è quello della parete ventilata, il cui principio base consiste nel passaggio dell'aria all'interno di un'intercapedine posta tra le due vetrate che costituiscono appunto la parete esterna. Una facciata ventilata non solo può consentire un guadagno solare se la parete è vetrata, ma certamente riduce anche i valori di trasmittanza dell'involucro esterno, con il risultato di ottenere una riduzione dei consumi e un aumento dei livelli naturali di comfort. I principali vantaggi che offre una tale facciata rispetto a quelle tradizionali sono rappresentati dalla riduzione del guadagno solare estivo verso gli ambienti interni, e quindi una diminuzione delle temperature relative, e dalla possibilità di riciclare in inverno l'aria dell'intercapedine a mezzo di apparecchi per il recupero di calore.

Nell'intercapedine delle facciate ventilate si viene a creare, in estate, l'effetto camino, grazie all'apertura di appositi dispositivi sia al piano terra che in copertura, effetto che può risultare positivo o negativo per il benessere degli ambienti, in relazione all'altezza dell'edificio stesso. Le valutazioni effettuate in sede di controllo hanno dimostrato, infatti, che una ventilazione di questo

tipo risulta efficace negli edifici non più elevati di venti piani, verificandosi oltre tale limite fenomeni complessi legati ai moti convettivi che possono creare turbolenze e spifferi agli utenti, e soprattutto grandi disparità di temperature ai vari livelli: ai piani molto alti l'effetto camino non sempre riesce in estate ad aspirare l'aria calda, né la convezione naturale consente in inverno il riscaldamento dell'aria nell'intercapedine.

Dunque, la facciata ventilata (fig.2.32 ) risulta efficace sia nella funzione di isolamento termico che in quella di ventilazione, in particolare nella stagione fredda le dispersioni termiche che si realizzano verso gli ambienti interni attraverso il rivestimento esterno impermeabile, sia vetrato che opaco, subiscono una riduzione a causa dell'intercapedine e anche dello stesso strato isolante. Durante la stagione calda l'aria fresca proveniente dalle zone inferiori dell'involucro, attraverso una griglia di protezione dagli insetti, penetra nell'intercapedine e viene aspirata per effetto camino, allontanando ulteriormente il calore dagli ambienti interni e contribuendo a rendere fresca la parete dell'involucro. La ventilazione delle facciate può prevenire i ponti termici ed evitare il verificarsi di spiacevoli effetti di condensazione all'interno dell'intercapedine.

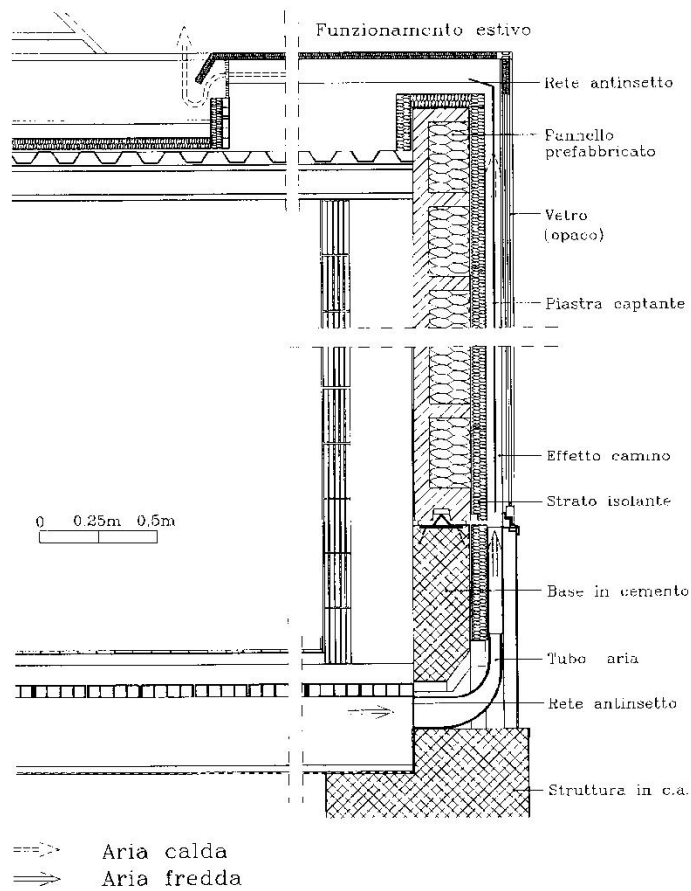


fig. 2.32 - Schema della facciata ventilata

#### 2.5.4 Breathing wall ( muro che respira)

Il muro che respira (fig. 2.33) consente all'aria e al vapore di defluire o diffondersi lentamente attraverso l'involucro.

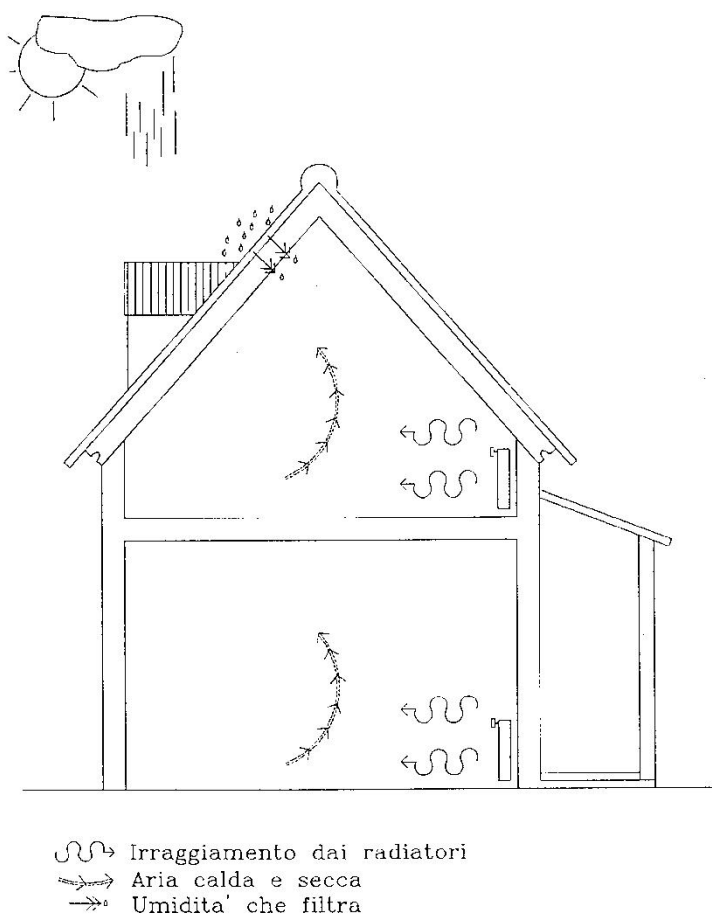


fig.2.33 - Breathing wall

Il sistema è deputato al controllo di tre fenomeni che regolano il microclima all'interno dell'edificio: il contenimento dell'umidità, la ventilazione e il recupero di calore.

I muri porosi assorbono il vapore acqueo nei momenti di elevata umidità e, comportandosi come un serbatoio, restituiscono poi il vapore acqueo all'ambiente interno quando l'aria più secca, ma termicamente confortevole. Inoltre si realizza l'isolamento dinamico, cioè l'aria in ingresso acquista calore

a contatto con il muro e l'aria in uscita cede calore al muro innalzandone la temperatura e riducendo il flusso termico interno - esterno.

L'uso di tale sistema è diffuso soprattutto nei climi freddi e umidi, nei quali il muro svolge funzione di filtro tra l'esterno e l'interno. Particolare riguardo è dovuto alle zone di connessione tra il muro e gli altri elementi della costruzione, affinché si verifichino i fenomeni convettivi appropriati e quelli dell'isolamento dinamico, e , dunque, che l'intero sistema raggiunga la massima efficienza.

## **2.6 Sistemi di illuminazione naturale**

La luce naturale ha un ruolo importante nella concezione e nella fruizione dell'architettura bioclimatica(fig. 2.34).

L'aumento di superfici vetrate, oltre a favorire il guadagno termico, garantisce ovviamente anche un maggior livello di illuminazione naturale, contribuendo a risparmiare energia elettrica. Inoltre la qualità percettiva della luce naturale è superiore a quella delle più sofisticate lampade e, dunque, riesce a migliorare la vivibilità di ogni spazio.

Alcuni sistemi utilizzabili sono: doppi infissi, mensole per la riflessione della luce, louveres, ecc.



fig.2.34 - Schema dell'esposizione solare

### 2.6.1 Doppi infissi

Una finestra o una porta-finestra sono allo stesso tempo vani conformati per il passaggio di una quantità di luce sufficiente allo svolgimento delle funzioni nell'ambiente interno e elementi di ventilazione naturale e transito. Pertanto, la loro presenza, lungi dall'essere dettata solo da fattori compositivi di prospetto, deve tener conto di tali esigenze.

I doppi infissi (fig. 2.35) sono sistemi prefabbricati che assicurano sia le caratteristiche desiderate di trasparenza che di tenuta all'aria, e anche di isolamento termico ed acustico dall'esterno.

Vanno, preferibilmente, localizzati a sud per evitare un eccessivo ombreggiamento e captare la maggiore quantità possibile di radiazione solare.



fig.2.35 - Sistema di doppi infissi- Casa Currutchet  
Buenos Aires (Argentina)- Le Corbusier 1949

### 2.6.2 Mensola per la riflessione della luce

E' una superficie continua installata come una mensola sulla finestra nell'ambiente interno: la luce naturale, proveniente dalla superficie vetrata della finestra e riflessa naturalmente dalla mensola, opportunamente trattata, viene diffusa nell'ambiente. Con questo sistema (fig. 2.36), dunque, oltre ad ottenere un migliore comfort visivo per l'effettivo aumento dell'illuminamento si riduce la superficie vetrata delle aperture e di conseguenza le dispersioni termiche durante l'inverno e l'eccessiva insolazione in estate.



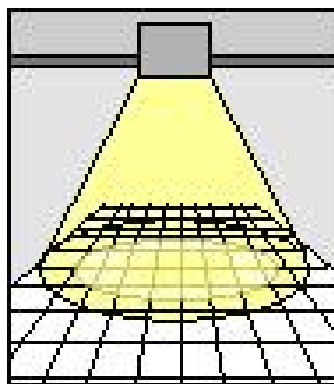


fig.2.36 –Schema di mensola per la riflessione solare

### 2.6.3 Louvres

Vengono impiegati per proteggere la costruzione dagli effetti indesiderati dell'irraggiamento che si verificano in estate e alle basse latitudini, cioè l'ingresso di quantità elevate di luce e calore. Diversi anche per la posizione rispetto all'edificio, all'esterno o all'interno delle finestre, coprenti totalmente o parzialmente un muro esterno, assumono denominazioni diverse come veneziane, persiane, avvolgibili, isolamento mobile, brise soleil. Tali sistemi (fig.2.37) consentono ad ogni utente di regolare il proprio microclima, manovrando un semplice congegno.

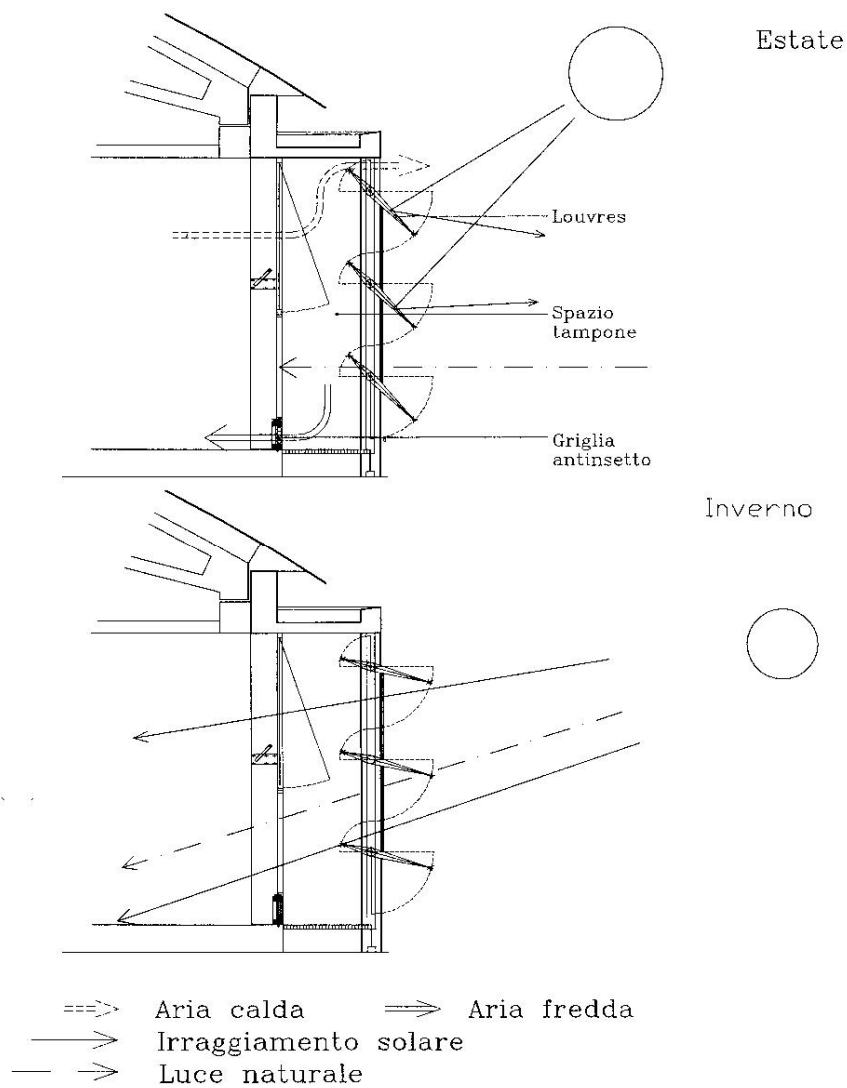


fig.2.37 - Schema di louvres

## Capitolo III

### 3.1 Il progetto bioclimatico

L'iter del progetto bioclimatico si contraddistingue nella sostanza per la presenza di due caratteri specifici, il primo dei quali è la necessaria attenzione al comportamento dei singoli elementi e dell'intero organismo costruito in relazione ai fenomeni fisici (termici, di movimento dell'aria e dell'umidità); il secondo carattere richiesto è quello di fornire un buon livello di gratificazione agli occupanti: ogni scelta operata durante il processo di progettazione è funzione del benessere fisiologico e psicologico dei possibili fruitori.

Un carattere precipuo del progetto bioclimatico, che lo differenzia da quello convenzionale, è il controllo del funzionamento di un edificio durante il suo ciclo di vita utile. Pertanto, durante il processo progettuale va dedicato tempo e spazio alla previsione di un adeguato sistema di controllo, che consenta all'organismo edilizio di funzionare anche in assenza di una specifica competenza in materia da parte degli utenti: se i sistemi hanno un elevato livello di complessità la gestione non può essere affidata agli occupanti.

Poiché l'architettura bioclimatica (fig. 3.1) deve necessariamente durare nel tempo, il suo controllo attraverso un piano di manutenzione costituisce elemento integrante del progetto, indispensabile sia per conservarne il funzionamento rispetto all'usura dovuta a cause endogene, sia per prevenire effetti del degrado accidentale causati da fattori esogeni. Peraltro, come è noto, il funzionamento di questi edifici è particolarmente delicato e spesso complesso, per cui un degrado dei sistemi condiziona nel tempo lo stato di efficienza e di conseguenza il livello di benessere interno, in misura maggiore di quanto succeda in un edificio convenzionale.

La regolazione delle condizioni microclimatiche interne si ottiene controllando attentamente le caratteristiche geometriche, localizzative e tecnologiche della costruzione edilizia.



fig. 3.1 - Progetto pilota Fuyj di villa unifamiliare a Madrid (Spagna)

### 3.1.1 Collocazione dell'edificio

Se si vuole sfruttare l'apporto gratuito del sole è di primaria importanza la collocazione del fabbricato (fig. 3.2). Le costruzioni che non presentano esposizione al sole invernale tra le nove e le quindici non possono utilizzare questa fonte di energia per il riscaldamento. Durante i mesi invernali, infatti,

tra le nove e le quindici giunge il 90% dell'energia solare giornaliera, mentre tra le nove e trenta e le quattordici e trenta giunge il 74% del totale. Ovviamente, qualunque ostacolo si frappone ai raggi del sole in queste fasce orarie costituisce una limitazione all'utilizzo dell'energia solare.

Occorre, quindi, individuare l'area del sito che riceve la massima radiazione solare nelle ore utili e collocare l'edificio nella parte nord di quest'area.

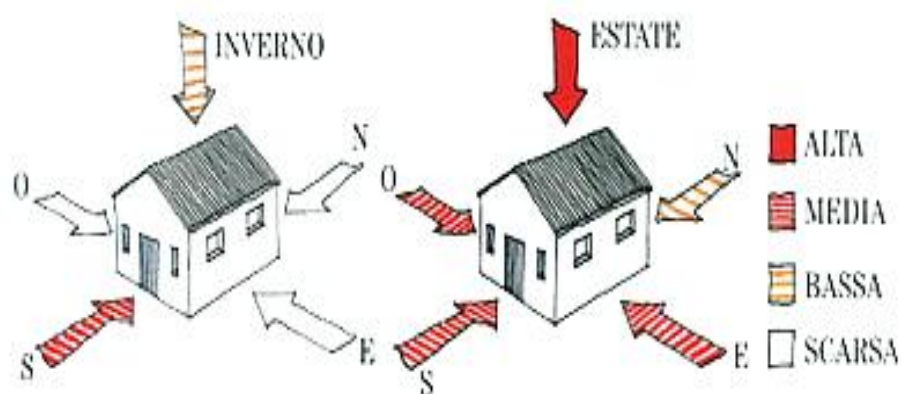


fig. 3.2- Intensità della radiazione solare incidente sull'edificio

E' importante che il progettista conosca anche i venti prevalenti (velocità, direzione, frequenza) del sito in cui deve sorgere l'edificio in modo da sfruttarli al massimo nel disegnare il progetto ed eventualmente potenziarne la capacità di raffrescamento con strategie che aumentino la ventilazione naturale (es. camini solari a vento, ventilatori a soffitto, ecc.).

### 3.1.2 Orientamento

Uno degli elementi più semplici da controllare in fase di progetto è l'orientamento degli edifici e degli ambienti (fig.3.2). Un corretto insediamento sul sito permette già un risparmio, in termini di gestione energetica, rispetto a uno scorretto. Gli edifici con affaccio nord e sud sono definiti tipologie “a guadagno solare”: è possibile sfruttare gli apporti solari sul fronte sud, in inverno quando il sole è più basso, con facile difesa dal sole alto estivo tramite logge, terrazzi, frangisole sul lato sud e in parte a ovest.

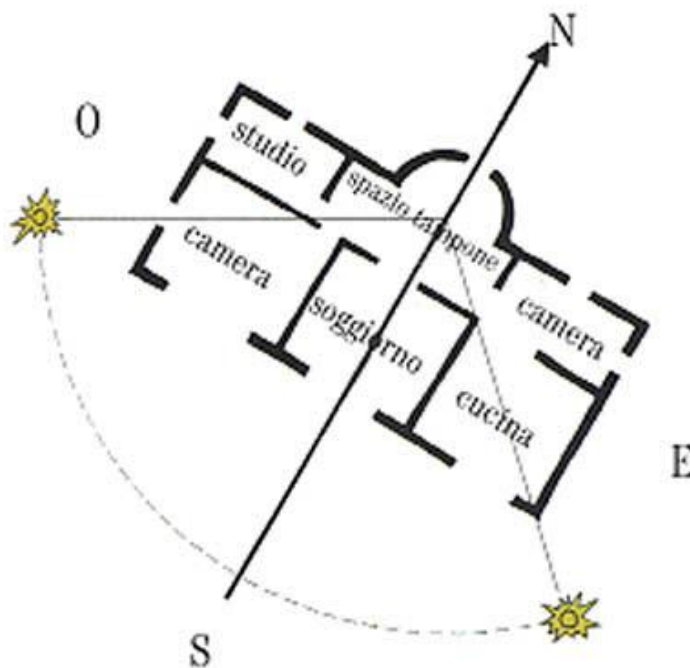


fig. 3.3 - Schema di orientamento corretto di un edificio bioclimatico

La rotazione del corpo edilizio di massimo 15° verso est o verso ovest non modifica sostanzialmente le caratteristiche di questo tipo di disposizione, stando attenti al possibile surriscaldamento estivo per rotazioni verso ovest.

### 3.1.3 Forma

Il sole deve poter entrare nell'edificio; pertanto, conviene costruirlo di forma allungata lungo l'asse est-ovest in modo da esporre una maggiore superficie a sud per la captazione invernale ed una minore superficie ad est ed ovest per migliorare il raffrescamento estivo.

L'entità dell'allungamento (fig. 3.4) dipende dal clima; infatti, nei luoghi molto freddi o molto caldi conviene disporre di una forma compatta esposta il meno possibile all'ambiente avverso, mentre nei luoghi a clima temperato c'è una maggiore possibilità di scelta.



fig. 3.4 - Casa unifamiliare bioclimatica

### 3.1.4 Lato nord

Il lato nord è certamente il meno utilizzabile in quanto è il lato più freddo soprattutto nel periodo dal venti settembre al venti marzo.

Occorre ridurre quanto più possibile l'esposizione del lato nord eventualmente creando un rinterro oppure sfruttando le pendenze del terreno verso sud (fig. 3.5).



fig. 3.5 - Casa Franchi - Torre (Svizzera)

Giacomo e Riccarda Guidotti

E' utile tinteggiare la parete nord di colore chiaro perché possa riflettere la luce del sole e proteggerla dai venti freddi invernali mediante una fitta fila di piante o un muro.

### 3.1.5 Distribuzione degli spazi interni

E' bene che i vani in cui si concentrano le attività si trovino sul fronte sud, mentre a nord vanno posti i locali di servizio e gli spazi di connessione orizzontale e verticale(fig. 3.6).



I lati est ed ovest ricevono un'uguale quantità di radiazione diretta per mezza giornata, ma nell'arco dell'intera giornata il lato ovest è più caldo a causa della maggiore temperatura dell'aria durante il pomeriggio.

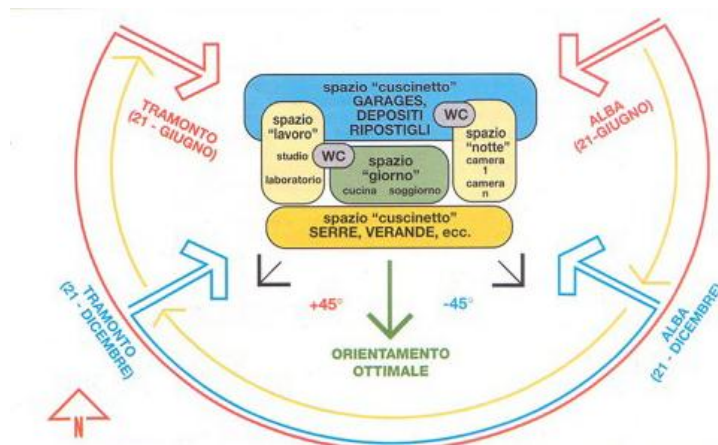


fig. 3.6 - Schema di distribuzione degli ambienti in un edificio bioclimatico

### 3.1.6 Protezione dell'ingresso

Ogni volta che viene aperta la porta d'ingresso si crea una forte dispersione termica verso l'esterno con il ricambio d'aria improvviso.

L'ingresso principale deve possibilmente essere dotato di una "camera stagna" (fig.3.7) utilizzata per le attività che richiedono poco riscaldamento. Inoltre, l'ingresso non deve essere esposto ai venti invernali mediante un'eventuale schermatura o un giusto orientamento. D'estate il doppio ingresso funziona riducendo il guadagno termico.



fig. 3.7 - Ingresso della casa unifamiliare a Ratisbona (Germania) - Herzog

### 3.1.7 Disposizione delle finestre

La collocazione e la forma delle finestre influiscono molto sui consumi energetici. Le principali aperture finestrate devono essere rivolte a sud, mentre negli altri lati devono essere piccole e possibilmente con doppio vetro.

Inoltre, non si deve dimenticare che le finestre orizzontali creano maggiori correnti d'aria di quelle verticali.



fig. 3.7 - Edificio residenziale -Milano

LPzR Architetti Associati

### 3.1.8 Scelta dell'applicazione di tecnologia bioclimatica

Una casa bioclimatica in inverno deve essere naturalmente calda, grazie ad un isolamento termico ben realizzato ma anche grazie alla capacità di sfruttare al massimo il calore del sole per mezzo di ampie superfici vetrate, che permettano di riscaldarla ed illuminarla con il minimo dispendio di energia. D'estate una casa bioclimatica deve essere naturalmente fresca, limitando l'esposizione al sole delle superfici vetrate e delle pareti attraverso un'opportuna inclinazione di tetti e pergole pur mantenendo una corretta illuminazione naturale degli ambienti interni, ma soprattutto con sistemi di ventilazione naturale diurni e notturni in grado di smaltire l'eccesso di calore accumulato all'interno.

E' importante che il progettista conosca le caratteristiche dei sistemi bioclimatici e valuti quale tecnologia (fig. 3.8) è preferibile adottare.



fig. 3.8 - Brise soleil fotovoltaico, Città solare

Friburgo(Germania) - Rolf Disch

### 3.1.9 Scelta dei materiali

Durante la costruzione del fabbricato si consuma una grande quantità di energia, conviene, quindi, utilizzare materiali a basso consumo energetico e prodotti localmente.

Per la massa termica si possono utilizzare blocchi di terra-cemento, mattoni, pietre e calcestruzzo; mentre per le rifiniture è preferibile utilizzare il legno.

L'acciaio, l'alluminio e la plastica devono essere utilizzati in piccole quantità e solo se strettamente necessario per i costi elevati di lavorazione e di trasporto.

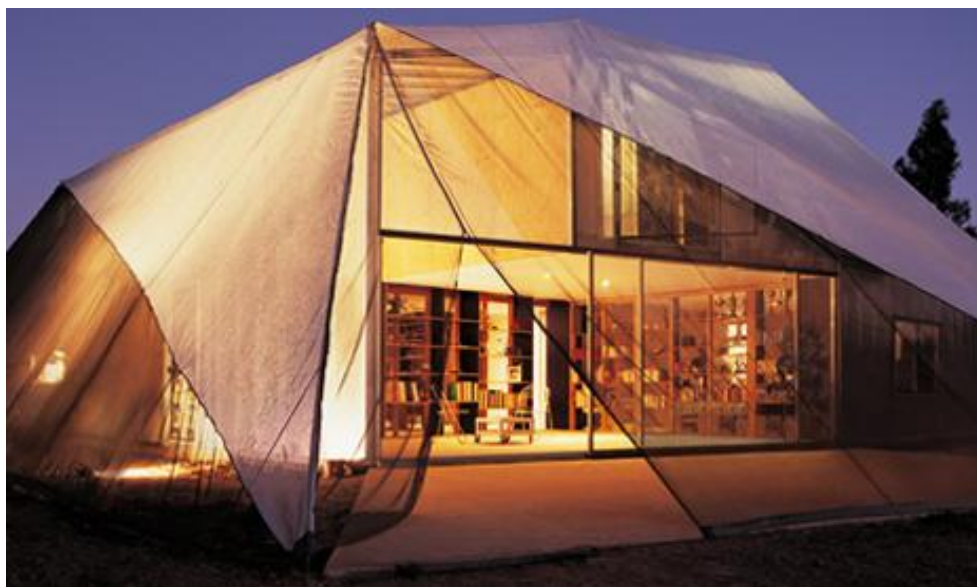


fig. 3.9 –Wall House - Santiago del Cile - FAR frohn&rojas

### 3.2 La riqualificazione sostenibile

Il controllo climatico naturale dell'edilizia esistente comincia a trovare espressione in applicazioni progettuali con eterogeneità di intenti e risultati, che rende difficilmente riconducibili ad una linea coerente e continua di sviluppo. Non tutti gli interventi sull'esistente in cui vi sia, da parte della committenza o del progettista, un dichiarato interesse per le tematiche energetiche o ambientali, possono dirsi veramente riusciti da questo punto di vista o al contrario vi sono casi in cui l'interesse per il controllo dei fattori ambientali è reale anche se non ostentato ed immediatamente leggibile.

Certo non è un'operazione facile quella dell'applicazione di criteri di controllo climatici naturale all'architettura esistente, soprattutto a quella più recente; quest'ultima sembra, infatti, per molti versi, trascurare, se non contraddire addirittura, tali criteri. Un esempio significativo riguarda il problema dell'orientamento: il movimento funzionalista aveva teorizzato l'opportunità di orientare gli edifici in linea lungo l'asse eliotermico onde distribuire la luce sulle due facciate principali rivolte ad est ed ovest. Se si considera, invece, l'aspetto energetico, la soluzione che garantisce la maggiore captazione del calore è quella che porta a privilegiare l'orientamento a sud con la protezione del lato nord. E' evidente, allora, che un intervento di riqualificazione sostenibile può incontrare notevoli difficoltà. Per quanto malleabili gli edifici di recente costruzione non sono comunque assoggettabili a modalità predefinite di intervento: gli impianti distributivi e le tecnologie strutturali impiegate possono consentire pochi gradi di libertà.

Le operazioni sull'involucro, basate sull'utilizzo di isolanti a cappotto, rivestimenti di coibentazione e impermeabilizzazione, doppi vetri, serre, muri Trombe, sono l'elemento più caratteristico di questo tipo di recupero (fig.3.10).

Queste si combinano con soluzioni di maggiore apertura o chiusura delle facciate, di protezione dal soleggiamento, di barriera ai venti e, in generale, con l'introduzione di sistemi naturali atti ad ottenere un migliore microclima interno e un minore dispendio di energia.



fig. 3.10 - Il Nuovo Meyer, Ospedale Pediatrico  
in costruzione nel complesso di Villa Ognissanti - Firenze

## Capitolo IV

### 4.1 Criteri empirici di dimensionamento di alcuni sistemi solari passivi

Per utilizzare applicazioni bioclimatiche che rientrano tra i sistemi solari passivi occorre effettuare un corretto dimensionamento adottando criteri adeguati fondati su esperienze riguardanti elementi simili.

Edward Mazria nel 1979 raccolse risultati sperimentali relativi a muri solari, serre e roof pond.

#### 4.1.1 Muro solare

Le dimensioni da attribuire ad un muro solare (fig. 4.1) dipendono da diversi fattori quali: il clima (maggiore è la differenza di temperatura tra interno ed esterno e maggiori sono le dispersioni), la latitudine (maggiore è la latitudine e minore è la radiazione solare), le dispersioni del fabbricato (l'area captante il muro è proporzionale ad esse).

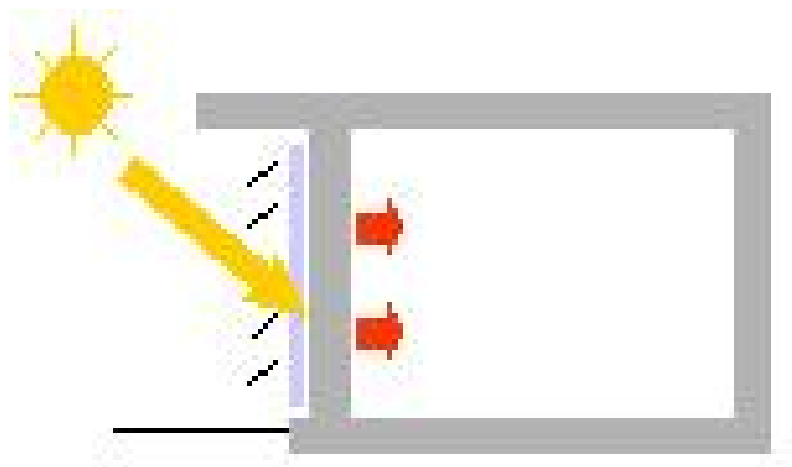


fig. 4.1 – Schema di muro solare



Il criterio empirico proposto da Marzia prevede che un muro solare trasmetta una quantità di energia termica sufficiente a coprire il fabbisogno termico dell'ambiente in un'intera giornata, considerando una giornata media di gennaio che è notoriamente il mese più freddo. Nell'arco delle ventiquattro ore, la temperatura deve mantenersi tra i 18° C e i 24° C.

Con questo criterio sono stati determinati i rapporti tra l'area del muro solare richiesta e l'area dell'ambiente da riscaldare sintetizzati nella tabella seguente (tab. 4.1).

| <i>Temperatura<br/>esterna media<br/>invernale</i> | <i>Gradi<br/>giorno<br/>al mese</i> | <i>m<sup>2</sup> di muro necessari per ogni<br/>m<sup>2</sup> di superficie abitata</i> |                     |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
|                                                    |                                     | <i>Parete in<br/>muratura</i>                                                           | <i>Muro d'acqua</i> |
| <i>Climi freddi</i>                                |                                     |                                                                                         |                     |
| -6.7                                               | 750                                 | 0.60-1.00                                                                               | 0.45-0.85           |
| -3.9                                               | 668                                 | 0.51-0.93                                                                               | 0.38-0.70           |
| -1.1                                               | 583                                 | 0.43-0.78                                                                               | 0.31-0.55           |
| <i>Climi temperati</i>                             |                                     |                                                                                         |                     |
| 1.7                                                | 500                                 | 0.35-0.60                                                                               | 0.25-0.43           |
| 4.4                                                | 417                                 | 0.28-0.46                                                                               | 0.20-0.34           |
| 7.2                                                | 333                                 | 0.22-0.35                                                                               | 0.16-0.25           |

tab 4.1-Dimensionamento di un muro solare  
per diverse condizioni climatiche

Temperature e gradi giorno si riferiscono ai mesi di dicembre e gennaio, i più freddi.

Il rapporto nella terza e quarta colonna va scelto, in ogni intervallo, in funzione della latitudine e all'isolamento. Per latitudini meridionali si usano i rapporti bassi.

Lo spessore del muro solare condiziona certamente le fluttuazioni della temperatura interna ed il suo rendimento dipende dalla conduttività e dal materiale di cui è costituito, come si evidenzia nella tabella 4.2.

| Materiale            | Conduttività termica<br>( $W/m^{\circ}C$ ) | Spessore consigliato<br>(cm) | Fluttuazione approssimata della temperatura interna dell'aria ( $^{\circ}C$ ) in funzione dello spessore del muro |       |       |      |      |      |
|----------------------|--------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|------|------|------|
|                      |                                            |                              | 10cm                                                                                                              | 20cm  | 30cm  | 40cm | 50cm | 60cm |
| Adobe                | 0.52                                       | 20-30                        | ...                                                                                                               | 10°   | 3.9°  | 3.9° | 4.4° | ...  |
| Mattoni comuni       | 0.73                                       | 25-35                        | ...                                                                                                               | 13.3° | 6.1°  | 3.9° | ...  | ...  |
| cls pesante          | 1.73                                       | 30-45                        | ...                                                                                                               | 15.6° | 8.9°  | 5.6° | 3.3° | 2.8° |
| Mattoni con magnesio | 3.81                                       | 40-60                        | ...                                                                                                               | 19.4° | 13.3° | 9.4° | 6.7° | 5.0° |
| Acqua                | ...                                        | 15 o più                     | 17.2°                                                                                                             | 10.0° | 7.2°  | 6.1° | 5.6° | 5.0° |

tab. 4.2 - Effetto dello spessore del muro solare sulle fluttuazioni della temperatura interna dell'aria

Si considera un muro solare con doppia vetratura. I rapporti riportati nella tabella valgono per le giornate invernali di sole. Si può notare che il magnesio, rendendo i mattoni più scuri, ne aumenta la conduttività. Per quanto riguarda l'acqua, se è contenuta in recipienti circolari, occorre utilizzare almeno 150 litri per ogni m<sup>2</sup> di vetratura.

Il rendimento del muro è condizionato anche dal colore della superficie esposta al sole, infatti i colori scuri aumentano l'assorbimento della radiazione solare (nero 95%, blu 85%, ecc.). Nei paesi molto freddi si può dotare il muro di aperture interne per migliorarne il rendimento sfruttando i moti convettivi dovuti all'effetto caminopurchè si abbia l'accortezza di dotare le aperture superiori di registri di regolazione.

La temperatura interna dell'ambiente riscaldato da un muro solare si può regolare mediante pannelli isolanti mobili disposti sul lato interno.

#### **4.1.2 Serra addossata**

Il sistema è molto difficile da dimensionare per via della complessità degli scambi termici con l'ambiente adiacente e della molteplicità delle variabili in gioco (clima, latitudine, massa di accumulo termico, dimensioni ed isolanti). Poiché nella maggior parte dei climi la serra (fig. 4.2) raccoglie più energia di quanta ne serva per il suo riscaldamento si presta benissimo a fornire calore agli ambienti adiacenti.



fig. 4.2 – Schema di serra addossata

Dopo una serie di sperimentazioni mediante simulazioni al calcolatore si è giunti ai risultati riassunti nella tabella seguente (tab. 4.3).

| <i>Temperatura esterna media<br/>invernale</i> | <i>Gradi<br/>giorno<br/>al mese</i> | <i>m<sup>2</sup> di vetratura della serra necessari<br/>per ogni m<sup>2</sup> di superficie abitata</i> |                     |
|------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
|                                                |                                     | <i>Parete in<br/>muratura</i>                                                                            | <i>Muro d'acqua</i> |
| <i>Climi freddi</i>                            |                                     |                                                                                                          |                     |
| -6.7                                           | 750                                 | 0.90-1.50                                                                                                | 0.68-1.27           |
| -3.9                                           | 668                                 | 0.78-1.30                                                                                                | 0.57-1.05           |
| -1.1                                           | 583                                 | 0.65-1.17                                                                                                | 0.47-0.82           |
| <i>Climi temperati</i>                         |                                     |                                                                                                          |                     |
| 1.7                                            | 500                                 | 0.53-0.90                                                                                                | 0.38-0.65           |
| 4.4                                            | 417                                 | 0.42-0.69                                                                                                | 0.30-0.51           |
| 7.2                                            | 333                                 | 0.33-0.53                                                                                                | 0.24-0.38           |

tab. 4.3 - Dimensionamento della serra addossata  
per diverse condizioni climatiche

Temperature e gradi giorno si riferiscono ai mesi di dicembre e gennaio, i più freddi.

Il rapporto nella terza e quarta colonna va scelto, in ogni intervallo, in funzione della latitudine e all'isolamento. Per latitudini meridionali si usano i rapporti bassi.

Lo scambio termico con l'ambiente adiacente è condizionato dallo spessore del muro divisorio, dalla superficie e dal colore. E' indispensabile consentire l'assorbimento dei raggi solari evitando ostruzioni all'interno della serra e realizzando un muro di colore scuro.

La tabella 4.4 mostra gli spessori del muro addossato alla serra consigliati per i diversi materiale.

| <i>Materiale</i>     | <i>Spessore consigliato<br/>(cm)</i> |
|----------------------|--------------------------------------|
| Adobe                | 20-30                                |
| Mattoni comuni       | 25-35                                |
| Calcestruzzo pesante | 30-45                                |
| Mattoni con magnesio | 40-60                                |
| Acqua                | 20 o più                             |

tab. 4.4 - Dimensionamento dello spessore del muro addossato alla serra in funzione del materiale

Per evitare il surriscaldamento della serra in periodo estivo si utilizzano delle aperture di ventilazione e delle schermature solari regolabili. Il muro di separazione degli ambienti interni può essere realizzato in muratura, come muro d'acqua o come accumulatore a letto di pietre a circolazione forzata.

#### 4.1.3 Roof pond

Questo sistema (fig.4.2) non è altro che un tetto solare ad acqua e serve sia per il riscaldamento invernale che per il raffrescamento estivo.

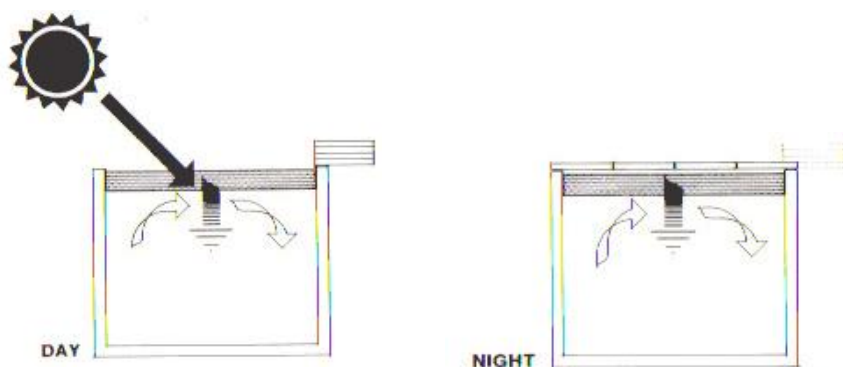


fig. 4.2 – Schema di roof pond

Le sperimentazioni hanno portato ai valori riportati nelle seguenti tabelle (tab.4.5 e tab. 4.6) che esprimono la dimensione della superficie captante in funzione della temperatura esterna media invernale e del tipo di clima.

|                                                                     |                  |                |               |
|---------------------------------------------------------------------|------------------|----------------|---------------|
| <i>Temperatura esterna media invernale<br/>(°C)</i>                 | <i>-10°- -4°</i> | <i>-4°- 2°</i> | <i>2°- 7°</i> |
| Doppia vetratura con isolamento<br>notturno                         | ...              | 0.85-1.00      | 0.60-0.90     |
| Vetratura semplice con isolamento<br>notturno<br>e riflettore       | ...              | ...            | 0.33-0.60     |
| Doppia vetratura con isolamento<br>notturno<br>e riflettore         | ...              | 0.50-1.00      | 0.25-0.45     |
| Copertura del collettore inclinata a sud<br>con isolamento notturno | 0.60-<br>1.00    | 0.40-0.60      | 0.20-0.40     |

tab 4.5 - Dimensionamento del roof pond in funzione  
della temperatura media esterna invernale

|                                                                       |                              |                              |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| <i>Tipo di pond</i>                                                   | <i>Clima caldo<br/>umido</i> | <i>Clima caldo<br/>secco</i> |
| A vetratura semplice                                                  | 1.00                         | 0.75-1.00                    |
| A vetratura semplice con<br>raffrescamento<br>evaporativo addizionale | 0.75-1.00                    | 0.33-0.50                    |

tab. 4.6 - Dimensionamento del roof pond per il raffrescamento  
in funzione del clima

#### 4.1.4 Accumulatore termico in muratura

Si tratta di una normale parete (o pavimento) in muratura su cui incide la radiazione solare (fig. 4.4). E', dunque, un sistema a guadagno diretto e non richiede particolari accorgimenti tecnologici.

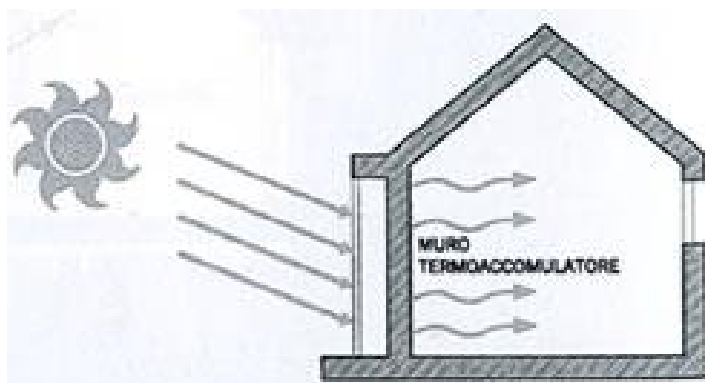


fig. 4.4 – Schema di accumulatore termico in muratura

L'obiettivo è quello di assorbire il calore e conservarlo per un tempo sufficientemente lungo in modo da coprire il fabbisogno termico anche nelle ore notturne o nelle giornate nuvolose, limitando al massimo le fluttuazioni della temperatura interna.

Per minimizzare le fluttuazioni occorre costruire le pareti di almeno dieci centimetri di spessore. Inoltre, la radiazione deve essere diffusa e non concentrata sulla superficie del muro; si possono adottare vetri semitrasparenti oppure pareti adiacenti di colore chiaro riflettenti. La radiazione diretta deve essere evitata per lunghi periodi di tempo sulle superfici in muratura di colore scuro poiché l'eccessivo riscaldamento aumenta le fluttuazioni, diminuisce



l'accumulo ed innalza troppo la temperatura interna. D'inverno, circa il 65% delle dispersioni avviene di notte, pertanto occorre dimensionare la muratura in modo da accumulare e conservare il 65% del calore, altrimenti l'effetto che si ottiene è quello di avere eccessiva energia termica di giorno ed insufficiente di notte.

Uno studio dei sistemi a guadagno diretto "Predicting the performance of passive solar heated buildings" di Marzia, Baker e Wessling del 1977, mostrò chiaramente che la percentuale di calore accumulato da una massa termica dipende da: ubicazione, dimensione, distribuzione della massa termica e colore delle superfici. Nelle tabelle seguenti (tab. 4.7, tab. 4.8 e 4.9) sono riportati i risultati di uno studio che illustra le prestazioni di un sistema al variare del tipo di materiale e del rapporto tra finestre solari e massa termica.

|                                                                | Caso 1<br>spessore<br>20 cm o più | Caso 2<br>spessore<br>20 cm o più | Caso 3<br>spessore<br>10cm o più |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| <i>Rapporto tra massa termica<br/>e finestre solari</i>        | 2.5                               | 3                                 | 9                                |
| <i>Temperatura massima<br/>interna dell'aria</i>               | 32°C                              | 28°C                              | 23°C                             |
| <i>Temperatura minima<br/>interna dell'aria</i>                | 9°C                               | 13°C                              | 16°C                             |
| <i>Fluttuazione media<br/>della temperatura interna</i>        | 23°C                              | 15°C                              | 7°C                              |
| <i>Temperatura massima<br/>della superficie del muro</i>       | 37°C                              | 29°C                              | 24°C                             |
| <i>Percentuale di energia solare<br/>accumulata alle 17,00</i> | 50%                               | 55%                               | 60%                              |

tab. 4.7 - Confronto tra sistemi

| <i>Materiale</i>     | <i>Conduttività<br/>W/m°C</i> | <i>Calore<br/>specifico<br/>Wh/Kg°C</i> | <i>Conduttività<br/>Kg/m<sup>3</sup></i> |
|----------------------|-------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|
| Adobe                | 0.52                          | 0.28                                    | 1700                                     |
| Calcestruzzo pesante | 1.73                          | 0.23                                    | 2240                                     |
| Mattoni comuni       | 0.73                          | 0.23                                    | 1920                                     |
| Mattoni con magnesio | 3.81                          | 0.23                                    | 1920                                     |

tab. 4.8 - Confronto tra materiali

| <i>Materiale</i>     | <i>Caso 1<br/>20 cm o più</i> | <i>Caso 2<br/>20 cm o più</i> | <i>Caso 3<sup>3</sup><br/>10 cm o più</i> |
|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|
| Adobe                | 28°-36°                       | 20°-25°                       | ≈9°                                       |
| Calcestruzzo pesante | 19°-22°                       | 13°-17°                       | ≈6°                                       |
| Mattoni comuni       | 25°-33°                       | 18°-22°                       | ≈8°                                       |
| Mattoni con magnesio | 17°-22°                       | 11°-14°                       | ≈5°                                       |

tab. 4.9 - Intervalli delle fluttuazioni della temperatura interna

Oltre al miglioramento delle caratteristiche termiche dei manufatti, sicuramente obiettivo principale, l'intervento di recupero bioclimatico consente anche la creazione di spazi esterni più piacevoli e il miglioramento dell'architettura e dell'abitabilità degli interni.

#### **4.2 Dimensionamento dei sistemi solari attivi**

L'energia solare termica utilizza l'energia dell'irraggiamento del sole che costituisce una fonte inesauribile di energia pulita. Non tutta la superficie della terra risulta irraggiata in modo uniforme: questo dipende dalla latitudine, dalla nuvolosità (le nubi assorbono le radiazioni solari) e dall'incidenza dei raggi solari (maggiore è l'inclinazione dei raggi del sole, minore è l'energia che giunge sul terreno o sui tetti).

L'energia solare termica, che è rinnovabile e pulita, può essere sfruttata grazie a pannelli solari o fotovoltaici opportunamente dimensionati.

##### **4.2.1 Pannello solare**

Per calcolare le dimensioni del pannello solare (fig. 4.10) da installare si può effettuare una prima valutazione partendo da:

1. determinazione della zona geografica e della radiazione solare giornaliera;
2. verifica del fabbisogno di acqua sanitaria in funzione del tipo di utilizzazione e del numero di persone;
3. calcolo della quantità di energia termica prodotta su base annua dei pannelli selezionati (il rendimento deve essere garantito e certificato) in funzione del grado di insolazione della zona (escludendo i mesi di luglio e agosto);

4. calcolo della percentuale di fabbisogno di energia termica coperta dai pannelli solari (togliendo sempre dal calcolo i mesi di luglio e agosto);
5. installazione di contatori sulla sola energia recuperata.

I mesi di luglio ed agosto vengono tolti dalla base di calcolo in quanto la grande quantità di energia termica che può essere normalmente prodotta in questi mesi viene in realtà solo parzialmente sfruttata.

In media, in Europa, si consumano circa 50 litri al giorno di acqua calda sanitaria pro capite, alla temperatura di 42°C. Ipotizzando una temperatura dell'acqua proveniente dall'acquedotto pari a 12 °C si può calcolare il quantitativo pro capite Q, di energia termica necessaria:

$$Q = G \cdot cs \cdot (Tu - Ta) = 50 \text{ l} \cdot 1 \text{ kcal/l } ^\circ\text{C} \cdot 30 ^\circ\text{C} = 1500 \text{ kcal}$$

Avendo indicato con: G, massa d'acqua da scaldare (l); cs, calore specifico dell'acqua (kcal/l); Tu, temperatura di utilizzo, pari a 42°C; Ta, temperatura acqua dell'acquedotto (°C).

Come valore indicativo, in prima approssimazione, si può considerare una produzione di acqua alla temperatura di 40°C, pari a 80-130 litri al giorno, per ogni metro quadro di pannello installato.

Per riscaldare l'acqua contenuta nel serbatoio (circa 50-80 litri per mq. di collettori installati), occorre circa mezza giornata di sole nel periodo estivo ed una giornata nel periodo invernale. La temperatura dell'acqua raggiungibile nelle giornate di pieno sole è di circa 40°C in inverno e di circa 60-80°C in estate per i pannelli vetrati.

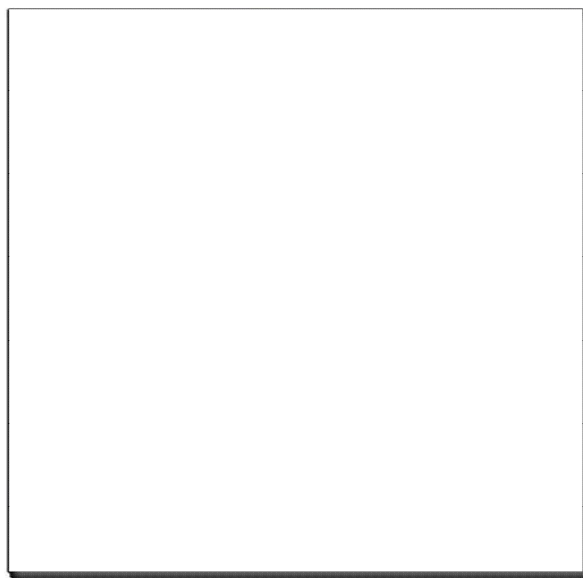


fig. 4.10 - Pannello solare

I pannelli solari sono in grado di produrre energia termica anche se non c'è sole: la radiazione incidente su un pannello non è infatti data solo dai raggi solari, ma anche dalle radiazioni presenti nell'intera volta celeste.

In situazioni di cielo nuvoloso o comunque di insolazione parziale, i pannelli con tubi sottovuoto hanno la maggior efficacia.

Per poter disporre di acqua calda sempre e a prescindere dal clima, è tuttavia indispensabile ricorrere a soluzioni integrative della radiazione solare.

Se nella casa già esiste una caldaia istantanea a gas a controllo elettronico per la produzione dell'acqua calda sanitaria, è possibile collegare il sistema solare all'impianto termico esistente. In questo caso, l'impianto solare integra quello tradizionale, con un considerevole risparmio di energia. Se non è possibile collegarsi alla caldaia a gas, occorre inserire nel serbatoio una resistenza elettrica di almeno 1 kW con termostato tarato a circa 40°C. Tutti i sistemi

solari compatti in commercio sono dotati di una resistenza elettrica integrativa posizionata all'interno del serbatoio.

#### 4.2.2 Sistema fotovoltaico

La prima cosa che il progettista di un sistema fotovoltaico (fig. 4.11) deve fare è quella di valutare con precisione il fabbisogno di energia elettrica annua dell'utenza.

Per dimensionare un impianto occorre conoscere l'intensità della radiazione solare disponibile nella località (il soleggiamento, cioè i valori dell'energia solare incidente su una superficie orizzontale, in Italia varia tra 5 kWh/m<sup>2</sup> giorno di città siciliane e sarde e 3.4 kWh/m<sup>2</sup> giorno della pianura Padana). Per ottimizzare la raccolta dell'energia solare lungo l'arco dell'anno, è opportuno che la superficie di raccolta, rivolta a Sud (nell'emisfero boreale) sia inclinata sulla orizzontale di un angolo pari alla latitudine del luogo interessato, più 10°.



fig.4.11 - Pannello fotovoltaico

Il dimensionamento di un impianto connesso alla rete dipende da :

- area disponibile per il generatore fotovoltaico;
- potenza massima fornita per il contatto dal distributore (Kw);
- consumi medi di energia (Kwh);
- capitale disponibile per l'investimento.

L'impianto isolato va dimensionato secondo i seguenti parametri:

- energia giornaliera richiesta;
- potenza di picco;
- necessità di accumulo di energia;
- radiazione solare incidente;
- carichi-apparecchi da servire.

La superficie totale ( $m^2$ ) delle fotocelle necessarie per coprire il carico giornaliero è data da: carico elettrico giornaliero che occorre coprire (kWh/giorno)/ soleggiamento della località (kWh/ $m^2$  giorno) per rendimento dell'impianto fotovoltaico.

#### **4.3 Dimensionamento dei sistemi di ventilazione naturale**

Il rinnovo dell'aria degli ambienti ai fini di mantenere la salubrità ed il benessere dei suoi occupanti è prescritta dalla raccomandazione CTI03/03.

La portata minima di ventilazione viene posta pari ad una funzione del volume dell'ambiente  $V'=V \times n$ , dove con n si indica il numero di ricambi d'aria.

Nel caso di ventilazione naturale per edifici residenziali si assume un numero di ricambi d'aria pari a 0,3 Vol/h (riferito al volume netto).

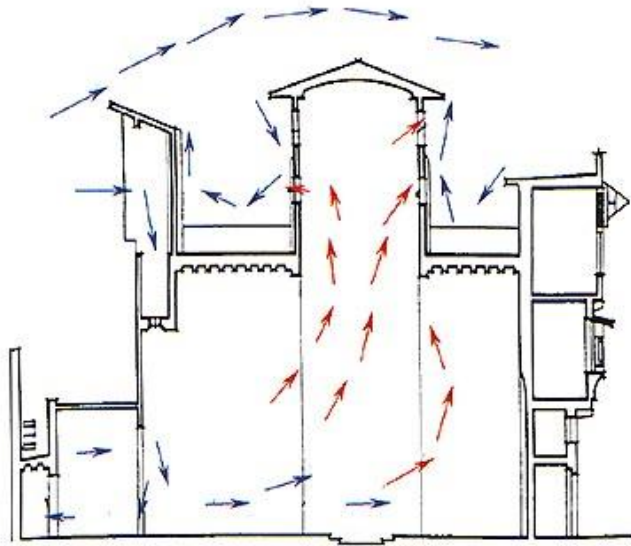


fig.4.12 - Schema dei flussi d'aria nel qa'a di Othman Katkhuda  
Cairo (1350)

#### 4.4 Dimensionamento dei sistemi di illuminazione naturale

Per garantire condizioni di confort visivo per l'uomo è opportuno assicurare una quantità di luce sufficiente per la visione chiara e nitida degli oggetti.

Nei locali esposti a sud, per sfruttare al massimo l'azione dei raggi solari, e in quelli orientati a nord è preferibile posizionare le aperture illuminanti al centro delle pareti esterne. Per le stanze esposte ad est o ad ovest è, invece, generalmente opportuno traslare le zone finestrate verso sud (compatibilmente con la prevedibile ottimale disposizione dell'arredamento).



Per consentire il passaggio dei raggi ultravioletti (intercettati dai vetri di uso comune) si possono impiegare speciali cristalli al quarzo il cui costo è, però, piuttosto elevato.

Per ciascun locale d'abitazione una dimensione minima delle zone finestate (apribili) deve essere pari ad  $\frac{1}{8}$  delle superfici del pavimento; l'ampiezza delle superfici finestate deve inoltre essere tale da assicurare un fattore medio di luce diurna non inferiore al 2%.

Non va, infine, dimenticato che negli spazi destinati al riposo e al sonno i serramenti devono essere dotati di dispositivi regolabili di oscuramento (fig. 4.13) tali da poter eliminare, soprattutto nelle ore notturne, le proiezioni localizzate ed eventuali fonti illuminanti esterne.



Fig. 4. 13 - The Phoenix Centre, Londra (UK)  
Broadway Malyan

## Capitolo V

### 5.1 Metodi di calcolo semplificati per sistemi solari passivi

Per valutare velocemente il comportamento dei sistemi solari passivi senza ricorrere a modelli complessi gestibili solo con potenti calcolatori, sono stati elaborati metodi semplificati di calcolo.

Tali metodi consentono di stimare il risparmio energetico che si può ottenere e l'eventuale rischio di surriscaldamento con conseguente perdita di benessere termoigrometrico.

#### 5.1.1 Valutazione del risparmio energetico

Si utilizzano delle correlazioni elaborate in base ai risultati di simulazioni effettuate con modelli di calcolo sofisticati. Tali correlazioni sono abbastanza affidabili: infatti, confrontando su base annua modelli complessi e modelli sofisticati si riscontra una differenza inferiore al 5%.

I metodi di calcolo semplificati presentano, però, l'inconveniente di non poter essere utilizzati per grossi insediamenti e nel caso di edifici a riscaldamento intermittente per la scarsa flessibilità.

I due metodi di calcolo semplificati più utilizzati sono il risultato di studi di gruppi di ricerca statunitensi: quello di Los Alamos e quello di Wisconsin. Per semplicità, in questo studio si adopera solo il primo per il dimensionamento degli elementi solari.

### 5.1.2 Valutazione del rischio di surriscaldamento

Per questo aspetto viene proposto un metodo semplificato che perviene alla determinazione della temperatura media raggiunta dall'aria dopo il susseguirsi di giornate serene.

### 5.2 Metodo di Los Alamos (solar load ratio)

Questo metodo consente un rapido calcolo del calore ausiliario mensile richiesto mediante determinazione dei fattori FRS (frazione di risparmio solare) e RIF (rapporto tra irraggiamento e fabbisogno termico) che sono così definiti:

$$FRS = 1 - \frac{\text{calore ausiliario richiesto}}{\text{fabbisogno termico netto}}$$

$$RIF = \frac{\text{irraggiamento solare assorbito}}{\text{fabbisogno termico netto}}$$

La procedura di calcolo è sostanzialmente uguale per tutti i componenti passivi salvo qualche piccola variabile e fermo restando i seguenti parametri di riferimento usati per derivare le correlazioni:

- oscillazione della temperatura dell'aria all'interno degli ambienti compresa tra 18,3° e 23,9° C (nelle serre tra 7° e 35°C);
- isolamento notturno tra le 17,30 e le 7,30 del giorno dopo;
- trasmittanza dell'isolante notturno pari a 0,63 W/mq°C;
- area dell'apertura inferiore o superiore delle pareti Trombe pari al 3% dell'area della superficie vetrata;

- parete di separazione tra serra e ambiente con spessore di 30 cm, coefficiente di assorbimento 0.8,  $r = 2400 \text{ Kg/mc}$ ,  $l = 1.73 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ,  $c = 837 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$ ;
- vetro doppio per serre e sistemi a guadagno diretto.

### 5.3 Calcolo delle prestazioni nelle serre

#### *Calcoli preliminari*

La dispersione dalla serra verso l'ambiente esterno relazionata alla proiezione verticale della superficie vetrata  $A_{sn}$  è rappresentata dal rapporto carico superficie della serra  $RCSs$ .

Per il calcolo del  $RCSs$   $[(\text{Wh})/(\text{mq}^\circ\text{C})]$  si utilizza la formula:

$$RCSs = \frac{Cgs * Vs * 24}{A_{sn}}$$

dove  $Cgs$  è il coefficiente di dispersione volumico della serra calcolato mediando la trasmittanza del vetro nelle 24 ore in caso di isolamento notturno;  $Vs$  è il volume della serra;  $A_{sn}$  è l'area della proiezione verticale della superficie vetrata netta della serra. Il valore di  $RCSs$  per varie tipologie è riportato nella tabella seguente (tab. 5.1).

| tipo | Pareti laterali | Isolamento notturno | C      | D      | H    | RCSs<br>(Wh/mqGG) |
|------|-----------------|---------------------|--------|--------|------|-------------------|
| 1    | opache          | no                  | 0.9587 | 0.4770 | 0.83 | 106               |
| 2    | opache          | si                  | 0.9982 | 0.6614 | 0.77 | 59                |
| 3    | vetrate         | no                  | 0.9552 | 0.4230 | 0.83 | 135               |
| 4    | vetrate         | si                  | 0.9956 | 0.6277 | 0.80 | 71                |
| 1    | opache          | no                  | 0.9683 | 0.4954 | 0.84 | 93                |
| 2    | opache          | si                  | 1.0029 | 0.6802 | 0.74 | 48                |
| 3    | vetrate         | no                  | 0.9689 | 0.4685 | 0.82 | 110               |
| 4    | vetrate         | si                  | 1.0029 | 0.6641 | 0.76 | 55                |
| 1    | comune          | no                  | 1.0087 | 0.7683 | 0.76 | 93                |
| 2    | comune          | si                  | 1.0412 | 0.9281 | 0.78 | 57                |
| 1    | comune          | no                  | 0.9889 | 0.6643 | 0.84 | 101               |
| 2    | comune          | si                  | 1.0493 | 0.8753 | 0.70 | 56                |
| 1    | comune          | no                  | 0.9968 | 0.7004 | 0.77 | 112               |
| 2    | comune          | si                  | 1.0468 | 0.9054 | 0.76 | 62                |

tab 5.1 - Coefficienti impiegati nel metodo di Los Alamos per le serre

Il rapporto carico superfici dell' ambiente da riscaldare RCS [(Wh)/(mq°C)] quantifica una dispersione dall'ambiente da riscaldare all'esterno (esclusa la serra); è un fabbisogno netto e si calcola con la formula seguente:

$$RCS = \frac{C'g \cdot V \cdot 24}{A_{sn}}$$

dove C'g è il coefficiente di dispersione volumico dell'ambiente calcolato senza considerare le perdite attraverso la serra; V è il volume dell'ambiente; A<sub>sn</sub> è l'area della proiezione verticale della superficie vetrata netta della serra.

Si calcola la temperatura di base  $t_b$ , cioè della temperatura in più che necessita all'ambiente rispetto alla temperatura di riferimento  $t_r$  (secondo la legge 10/91 si può assumere  $t_r=20^\circ\text{C}$ ), con la formula seguente:

$$t_b = t_r - \frac{Q}{C_g * V * 24}$$

dove il termine frazionario esprime la temperatura che si raggiungerebbe con i soli apporti energetici gratuiti:  $Q$  è il valore degli apporti di calore gratuiti giornalieri (25-30 Wh/mc nelle camere da letto e 30-60 Wh/mc per soggiorno);  $C_g$  [(Wh)/(mq°C)] è il coefficiente di dispersione volumico calcolato considerando anche le perdite attraverso il componente solare, mediate sulle ventiquattro ore in presenza di isolamento notturno :

$$C_g = C'_g + \frac{(K * A_p)}{V}$$

Dove  $C'_g$  è il coefficiente di dispersione volumico calcolato senza tener conto delle dispersioni attraverso il componente solare;  $K$  è la trasmittanza del componente solare presente nelle tabelle seguenti (tab. 5.2., tab. 5.3 e tab.5.4);  $A_p$  è l'area del componente solare e  $V$  è il volume dell'ambiente.

| tipo | Densità x<br>Spessore<br>( $K \cdot m$ ) | Densità x<br>Conducibilità<br>( $W \cdot Kg/m^2$ ) | Numero<br>vetri | Isolamento<br>notturno | Termo-<br>circolazione | $c$    | $d$    | $h$  | $K$<br>( $W/mq \cdot ^\circ C$ ) | $RCSs$ ( $Wh/mq$<br>GG) |
|------|------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------|------------------------|------------------------|--------|--------|------|----------------------------------|-------------------------|
| 1    | 720                                      | 4150                                               | 1               | SI                     | SI                     | 1.0346 | 0.7810 | 1.08 | 1.12                             | 50                      |
| 2    | 720                                      | 4150                                               | 1               | NO                     | SI                     | 0.9842 | 0.4418 | 0.89 | 1.64                             | 125                     |
| 3    | 720                                      | 4150                                               | 2               | SI                     | SI                     | 1.0606 | 0.9770 | 0.85 | 0.88                             | 33                      |
| 4    | 720                                      | 4150                                               | 2               | NO                     | SI                     | 0.9964 | 0.7123 | 0.85 | 1.35                             | 74                      |
| 5    | 550                                      | 4150                                               | 2               | NO                     | SI                     | 0.9680 | 0.6318 | 0.92 | 1.45                             | 74                      |
| 6    | 1100                                     | 4150                                               | 2               | NO                     | SI                     | 1.0190 | 0.7332 | 0.79 | 1.22                             | 74                      |
| 7    | 550                                      | 2075                                               | 2               | NO                     | SI                     | 0.9821 | 0.6020 | 0.85 | 1.07                             | 74                      |
| 8    | 720                                      | 2075                                               | 2               | NO                     | SI                     | 0.9980 | 0.6191 | 0.80 | 0.97                             | 74                      |
| 9    | 1100                                     | 2075                                               | 2               | NO                     | SI                     | 0.9981 | 0.5615 | 0.76 | 0.83                             | 74                      |
| 10   | 550                                      | 1040                                               | 2               | NO                     | SI                     | 0.9788 | 0.4964 | 0.79 | 0.84                             | 74                      |
| 11   | 720                                      | 1040                                               | 2               | NO                     | SI                     | 0.9760 | 0.4519 | 0.76 | 0.77                             | 74                      |
| 12   | 1100                                     | 1040                                               | 2               | NO                     | SI                     | 0.9588 | 0.3612 | 0.73 | 0.58                             | 74                      |
| 13   | 720                                      | 4150                                               | 1               | SI                     | NO                     | 1.0514 | 0.6886 | 1.01 | 1.12                             | 50                      |
| 14   | 720                                      | 4150                                               | 1               | NO                     | NO                     | 0.9974 | 0.4036 | 0.91 | 1.64                             | 125                     |
| 15   | 720                                      | 4150                                               | 2               | SI                     | NO                     | 1.0781 | 0.9852 | 0.82 | 0.88                             | 33                      |
| 16   | 720                                      | 4150                                               | 2               | NO                     | NO                     | 1.0189 | 0.6502 | 0.86 | 1.35                             | 74                      |
| 17   | 550                                      | 4150                                               | 2               | NO                     | NO                     | 0.9900 | 0.6053 | 0.93 | 1.45                             | 74                      |
| 18   | 1100                                     | 4150                                               | 2               | NO                     | NO                     | 1.0419 | 0.6258 | 0.80 | 1.22                             | 74                      |
| 19   | 550                                      | 2075                                               | 2               | NO                     | NO                     | 1.0133 | 0.5462 | 0.88 | 1.07                             | 74                      |
| 20   | 720                                      | 2075                                               | 2               | NO                     | NO                     | 1.0325 | 0.5269 | 0.82 | 0.97                             | 74                      |
| 21   | 1100                                     | 2075                                               | 2               | NO                     | NO                     | 1.0401 | 0.4400 | 0.77 | 0.83                             | 74                      |
| 22   | 550                                      | 1040                                               | 2               | NO                     | NO                     | 1.0002 | 0.4356 | 0.93 | 0.84                             | 74                      |
| 23   | 720                                      | 1040                                               | 2               | NO                     | NO                     | 1.0280 | 0.4151 | 0.83 | 0.77                             | 74                      |
| 24   | 1100                                     | 1040                                               | 2               | NO                     | NO                     | 1.0327 | 0.3522 | 0.78 | 0.58                             | 74                      |

tab. 5.2 - Definizione delle tipologie di pareti solide ad accumulo ed  
elenco dei coefficienti impiegati nel metodo di Los Alamos

| <i>tipo</i> | <i>Litri/mq<br/>Superficie<br/>vetro</i> | <i>Numero<br/>vetri</i> | <i>Isolamento<br/>notturno</i> | <i>C</i> | <i>D</i> | <i>H</i> | <i>K<br/>(W/mq °C)</i> | <i>RCSs<br/>(Wh/mq GG)</i> |
|-------------|------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------|----------|----------|------------------------|----------------------------|
| 1           | 230                                      | 1                       | SI                             | 1.0673   | 1.0087   | 0.95     | 1.39                   | 50                         |
| 2           | 230                                      | 1                       | NO                             | 0.9754   | 0.5518   | 0.92     | 2.31                   | 125                        |
| 3           | 230                                      | 2                       | SI                             | 1.1028   | 1.1811   | 0.74     | 1.05                   | 33                         |
| 4           | 230                                      | 2                       | NO                             | 1.0171   | 0.8852   | 0.85     | 1.78                   | 74                         |
| 5           | 150                                      | 2                       | NO                             | 0.9833   | 0.7603   | 0.92     | 1.78                   | 74                         |
| 6           | 300                                      | 2                       | NO                             | 1.0395   | 0.9570   | 0.81     | 1.78                   | 74                         |
| 7           | 460                                      | 2                       | NO                             | 1.0604   | 1.0387   | 0.78     | 1.78                   | 74                         |
| 8           | 610                                      | 2                       | NO                             | 1.0735   | 1.0827   | 0.76     | 1.78                   | 74                         |

tab. 5.3 - Definizione delle tipologie di pareti ad accumulo ad acqua ed  
elenco dei coefficienti impiegati nel metodo di Los Alamos

| <i>tipo</i>                                       | 1      | 2      | 3      | 4      |
|---------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| <i>Accumulo termico (kJ/°Cmq)</i>                 | 900    | 900    | 1200   | 1200   |
| <i>Spessore Nominale (m)</i>                      | 0.15   | 0.15   | 0.10   | 0.10   |
| <i>Rapporto tra area massa e area vetrata Asn</i> | 3      | 3      | 6      | 6      |
| <i>Isolamento notturno</i>                        | NO     | SI     | NO     | SI     |
| <i>A</i>                                          | 0.5739 | 0.5601 | 0.6344 | 0.6182 |
| <i>B</i>                                          | 0.9938 | 0.9839 | 0.9887 | 0.9859 |
| <i>C</i>                                          | 1.251  | 1.352  | 1.527  | 1.566  |
| <i>D</i>                                          | 1.061  | 1.151  | 1.438  | 1.437  |
| <i>R</i>                                          | 0.7905 | 0.8879 | 0.8832 | 0.899  |
| <i>G (Wh/mq GG)</i>                               | 53.1   | 13.5   | 54.4   | 13.6   |
| <i>K (W/mq °C)</i>                                | 3.1    | 1.4    | 3.1    | 1.4    |

tab. 5.4 - Coefficienti impiegati nel metodo di Los Alamos  
per componenti a guadagno diretto



Per il calcolo della trasmittanza media giornaliera di un componente in presenza di isolamento notturno si utilizza la formula seguente:

$$K = (1 - f_i) * K + f_i - \frac{K}{1 + (R_i * K)}$$

dove  $K[(Wh)/(mq^{\circ}C)]$  è la conduttanza in assenza di isolamento,  $R_i$  è la resistenza termica dell'isolante notturno [ $mq^{\circ}C/W$ ] e  $f_i$  è la frazione delle ore del giorno durante le quali si impiega l'isolamento.

#### *Fasi di calcolo*

*da ripetere per tutti i mesi del periodo di riscaldamento*

1. Calcolo dell'energia solare assorbita mensilmente per unità di area vetrata

Le correlazioni esaminate sono valide per le configurazioni di serre studiate e per orientamento a sud.

$$S = \left[ AA + BB * Y + CC * Y^2 + K_t (DD + EE * Y + FF * Y^2) \right] I_o \text{ g}$$

$$S = [ Wh / mq ]$$

Dove  $Y = \frac{L - D}{90}$ ,  $L$  è la latitudine del sito in esame,  $D$  è la declinazione solare a metà mese i cui valori sono indicati nella tabella tab. 5.6,  $K_t$  è il coefficiente di trasparenza atmosferica (tab. 5.7),  $I_o$  è la radiazione solare media mensile

incidente su superficie orizzontale (Wh/mq giorno) (tab. 5.7),  $g$  è il numero di giorni del mese esaminato.

Per i coefficienti utilizzati nella formula di  $S$  si utilizzano i valori riportati nella tabella seguente tab.5.7.

| <i>Serra tipo</i> | <i>AA</i> | <i>BB</i> | <i>CC</i> | <i>DD</i> | <i>EE</i> | <i>FF</i> |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| A1, A2            | 0.72008   | -.15181   | 0.49973   | -0.15039  | 0.14384   | 3.63740   |
| A3, A4            | 0.81554   | -.23988   | 0.60252   | -0.16445  | 0.33730   | 3.16950   |
| B1, B2            | 0.58932   | -0.09693  | 0.38955   | -0.14699  | -0.39149  | 3.91710   |
| B3, B4            | 0.62559   | -0.13941  | 0.43331   | -0.14982  | -0.26401  | 3.56850   |
| C1, C2            | 0.39436   | -0.21103  | 0.58815   | -0.24083  | -0.60745  | 4.65460   |
| D1, D2            | 0.73147   | -0.15418  | 0.50763   | -0.15276  | 0.14608   | 3.69500   |
| E1, E2            | 0.61661   | -0.10127  | 0.40733   | -0.15367  | -0.40940  | 4.09690   |

tab. 5.5 - Coefficienti utilizzati per il calcolo di  $S$   
per le configurazioni di serre studiate

| <i>Mese</i> | <i>declinazione</i> |
|-------------|---------------------|
| Gennaio     | -21.4               |
| Febbraio    | -13.3               |
| Marzo       | -2.8                |
| Aprile      | 9.4                 |
| Maggio      | 16.8                |
| Giugno      | 23.3                |
| Luglio      | 21.5                |
| Agosto      | 13.8                |
| Settembre   | 2.2                 |
| Ottobre     | -9.6                |
| Novembre    | -19.2               |
| Dicembre    | -23.3               |

tab. 5.6 - Valori della declinazione media  
(posizione angolare del sole rispetto al piano dell'equatore  
a mezzogiorno solare) espressa in gradi

I valori di  $K_t$  e  $I_o$  sono riportati nella tabella 5.7 per Napoli (latitudine 40 gradi 52 primi).

Gli altri parametri presenti nella tabella 5.7 sono:  $T_E$  è la temperatura media mensile dell'aria,  $I_v$  la radiazione globale giornaliera media mensile incidente su un mq di superficie verticale a sud,  $D$  declinazione solare a metà mese pari a  $D=R/R_n$  con  $R$  rapporto tra i valori medi mensili della radiazione solare su superficie verticale e su quella orizzontale e  $R_n$  il rapporto tra radiazione incidente alle ore 12 su superficie verticale e superficie orizzontale calcolato

per il giorno in cui la radiazione globale giornaliera eguaglia il valore medio mensile della radiazione globale,  $R_v$  la radiazione solare incidente a mezzogiorno su superficie verticale calcolata nel giorno in cui la radiazione globale eguaglia quella mensile.

| <i>Mese</i> | <i>TE</i><br>(°C) | <i>I<sub>o</sub></i><br>(Wh/mq<br>giorno) | <i>I<sub>v</sub></i><br>(Wh/mq<br>giorno) | <i>KT</i> | <i>D</i> | <i>R<sub>v</sub></i><br>(W/mq) |
|-------------|-------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------|----------|--------------------------------|
| Gennaio     | 10.5              | 1838                                      | 1838                                      | 0.42      | 0.91     | 420                            |
| Febbraio    | 10.6              | 2628                                      | 2628                                      | 0.42      | 0.95     | 414                            |
| Marzo       | 13.2              | 3855                                      | 3855                                      | 0.47      | 1.01     | 439                            |
| Aprile      | 16                | 5191                                      | 5191                                      | 0.52      | 1.11     | 420                            |
| Maggio      | 19.5              | 6598                                      | 6598                                      | 0.58      | 1.19     | 403                            |
| Giugno      | 24.1              | 7222                                      | 7222                                      | 0.61      | 1.23     | 392                            |
| Luglio      | 26.7              | 7426                                      | 7426                                      | 0.65      | 1.22     | 448                            |
| Agosto      | 26.5              | 6447                                      | 6447                                      | 0.64      | 1.14     | 528                            |
| Settembre   | 23.8              | 4964                                      | 4964                                      | 0.61      | 1.01     | 602                            |
| Ottobre     | 19.6              | 3499                                      | 3499                                      | 0.57      | 0.94     | 614                            |
| Novembre    | 15.5              | 2067                                      | 2067                                      | 0.47      | 0.91     | 498                            |
| Dicembre    | 12.1              | 1517                                      | 1517                                      | 0.41      | 0.90     | 415                            |

tab. 5.7 - Valori medi mensili dei parametri  $TE$ ,  $I_o$ ,  $I_v$ ,  $KT$ ,  $D$ ,  $R_v$

## 2. Calcolo dei gradi giorno mensili

I gradi giorno mensili  $GG$  si calcolano in funzione della temperatura di base  $t_b$  con la seguente relazione:

$$GG = (t_b - t_e)g$$

dove  $t_b$  è la temperatura base,  $t_e$  è la temperatura esterna media mensile (nella tabella 5.7) e  $g$  è il numero di giorni del mese esaminato.

### 3. Calcolo del valore di RIF

RIF è il rapporto tra irraggiamento solare assorbito (espresso come differenza tra apporto solare termico entrante e dispersione termica uscente) ed il fabbisogno termico netto dell'ambiente RCS. Si determina con la formula seguente:

$$RIF = \frac{\frac{S}{GG} - H * RCSs}{RCS}$$

dove S è l'energia solare assorbita mensilmente per unità di area vetrata, GG sono gradi giorno mensili, H (tab.5.1) è variabile in funzione del tipo di serra, RCSs è la dispersione dalla serra verso l'ambiente esterno.

### 4. Calcolo della frazione di risparmio solare

Il rapporto tra l'energia risparmiata e il fabbisogno termico FRS è quantificato con la formula:

$$FRS = 1 - \frac{\text{calore ausiliario richiesto}}{\text{fabbisogno termico netto}}$$

$$FRS = 1 - C e^{(-D \times RIF)}$$

I valori di C e D ricavabili dalla tabella 5.4 . In caso di  $FRS > 1$  si utilizza  $FRS=1$ .

### 5. Determinazione del carico termico mensile netto

Il fabbisogno termico reale dell'ambiente espresso in termini di energia.  $L_n$  senza considerare le perdite attraverso il componente solare è calcolato con la relazione:

$$L_n = C'g \cdot V \cdot GG \cdot 24 \cdot 10^{-3} \text{ [KWh]}$$

dove  $C'g$  è il coefficiente di dispersione volumico calcolato senza tener conto delle dispersioni attraverso il componente solare,  $V$  è il volume dell'ambiente e  $GG$  rappresenta i gradi giorno mensili.

### 6. Determinazione del calore ausiliario mensile richiesto

$$Q_{aux} = (1-FRS) \cdot L_n \text{ [KWh]}$$

## 5.4 Calcolo delle prestazioni delle pareti ad accumulo

Si esegue la stessa procedura indicata per le serre con le differenze seguenti.

1. RCS viene ricavato direttamente dalle tabelle 5.2 e 5.3.
2. La radiazione solare assorbita da un metro quadro di superficie è calcolato con la formula

$$S = FS \cdot a' \cdot g \cdot f \text{ [Wh/mq]}$$

dove  $FS$  rappresenta il flusso solare (Wh/mq giorno), somma della radiazione trasmessa e della frazione di calore accumulato nel vetro ceduta all'ambiente

interno, se la superficie vetrata è sempre al sole si può porre  $f=1$ ;  $a'$  è il coefficiente di assorbimento effettivo 
$$a' = \frac{a}{1 - (1 - a) \cdot p}$$
 ( $a' > a$ )

rd riflettenza della radiazione diffusa, nel caso del doppio vetro è pari a 0,24 e a coefficiente di assorbimento reale si trova nella tabella 5.4; g è il numero di giorni del mese esaminato, f è il coefficiente di ombreggiamento.

I valori di fattori di guadagno solare di Napoli (latitune 40 gradi 52 primi) sono definiti nella tabella seguente (tab. 5.8):

| <i>Orientamento</i> | 0    | 30   | 45   | 60   | 90   | 180  |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|
| <i>Gennaio</i>      | 2326 | 2042 | 1772 | 1494 | 964  | 481  |
| <i>Febbraio</i>     | 2414 | 2192 | 2009 | 1804 | 1343 | 682  |
| <i>Marzo</i>        | 2534 | 2483 | 2407 | 2289 | 1901 | 928  |
| <i>Aprile</i>       | 2287 | 2525 | 2632 | 2658 | 2473 | 1204 |
| <i>Maggio</i>       | 2061 | 2485 | 2772 | 2956 | 2981 | 1477 |
| <i>Giugno</i>       | 1951 | 2427 | 2803 | 3069 | 3209 | 1630 |
| <i>Luglio</i>       | 2162 | 2694 | 3053 | 3281 | 3312 | 1434 |
| <i>Agosto</i>       | 2732 | 3078 | 3232 | 3277 | 3012 | 1182 |
| <i>Settembre</i>    | 3404 | 3315 | 3198 | 3012 | 2418 | 944  |
| <i>Ottobre</i>      | 3539 | 3170 | 2863 | 2522 | 1768 | 728  |
| <i>Novembre</i>     | 2747 | 2400 | 2070 | 1729 | 1079 | 498  |
| <i>Dicembre</i>     | 2197 | 1921 | 1632 | 1336 | 796  | 399  |

tab. 5.8 - Valori giornalieri medi del flusso solare attraverso un vetro di riferimento di 3mm

### 5.5 Calcolo delle prestazioni dei componenti a guadagno diretto

Anche per questi sistemi la procedura da seguire è la stessa indicata per le serre.

1. Viene evitato il calcolo di RCSs poiché in questo caso ha valore nullo.
2. La radiazione solare mensile assorbita per metro quadro di superficie vetrata vale:

$$S = F S_a e_g f \text{ [Wh/mq]}$$

3. Il valore di RIF è:

$$RIF = \frac{\frac{S}{GG}}{RCS + G}$$

G si ricava dalla tabella.4.4.

4. La frazione solare è:

$$FRS = \frac{J(G + RCS)}{RCS} - G$$

$$J = A - RIF \text{ con } RIF < R \text{ e } J = B - C - E (-D \times RIF) \text{ con } RIF > R$$

A, B, C, D, R sono presenti nella tabella 5.4.



## 5.6 Isolamento notturno con resistenza termica inferiore al caso di riferimento

Le comuni serrande in legno o in materiali plastici hanno una resistenza addizionale di 0.3-0.4 °C mq/W. Pertanto, volendo adottare un isolamento notturno differente da quello di riferimento che ha 1,59 °Cmq/W si ha il problema di determinare il risparmio di energia ottenibile. Si considera la frazione  $x$  dell'incremento di FRS relativo all'isolante di riferimento che si calcola con la formula:

$$x = \frac{1 + \frac{R_0}{1,59}}{1 + \frac{R_0}{R_i}}$$

e poi si calcola

$$FRS = (1-x) * FRS_0 + x * FRS_i$$

dove  $FRS_0$  è la frazione di risparmio solare in assenza di isolamento,  $FRS_i$  la frazione di risparmio solare in presenza di isolamento,  $R_i$  la resistenza dell'isolamento notturno previsto (°Cmq/W) e  $R_0$  la resistenza del componente passivo in assenza di isolamento notturno (1/K).

Nel caso delle serre si può determinare  $R_0$  con la seguente formula:

$$R_0 = \frac{(A_{ps} * K_{ps}) + (C_{gs} * V_s)}{C_{gs} * V_s * K_{ps}}$$

Dove  $A_{ps}$  area della parete di separazione e  $K_{ps}$  trasmittanza della parete di separazione.

### 5.7 Valutazione del rischio di surriscaldamento dovuto all'impiego di componenti solari

L'eccesso di calore in un ambiente riscaldato con sistemi solari passivi è indice di una progettazione non accurata. Occorre, infatti, dimensionare correttamente anche la superficie esposta determinando l'area massima in grado di provocare il surriscaldamento durante una sequenza di giornate limpide di gennaio. A tal fine, sono state elaborate delle curve che consentono di calcolare la massima apertura possibile compatibile con le esigenze di comfort. Questo metodo non è direttamente utilizzabile perché deriva da simulazioni effettuate su edifici con bassissima inerzia termica. Pertanto, si considera solo la temperatura interna media dell'aria in un locale polarizzato dopo una successione di giornate serene.

### 5.8 Calcolo della temperatura media dell'aria

In caso di più giornate serene la temperatura tende a stabilizzarsi e si ha:

$$t_i = t_e + D_{ts} \quad (^\circ\text{C})$$

con  $t_i$  temperatura interna,  $t_e$  temperatura esterna e  $D_{ts}$  innalzamento della temperatura dell'aria prodotto dalla radiazione solare e dagli apporti gratuiti interni

$$\Delta_{ts} = \frac{S + Q}{C_g * V * 24}$$

Dove  $C_g$  è il coefficiente di dispersione globale calcolando anche le perdite, mediate sulle 24 ore, dei componenti solari;  $Q$  apporti di calore gratuiti interni giornalieri (Wh/giorno);  $S$  radiazione solare assorbita dall'ambiente durante una giornata chiara (Wh/giorno) pari a  $S = F_{ss} \cdot A_{sn} \cdot a' \cdot f \cdot P$  con  $P$

frazione dell'energia incidente sulla superficie esterna del componente solare trasferita all'interno dell'ambiente ricavabile dalla curva seguente(fig.5.1):

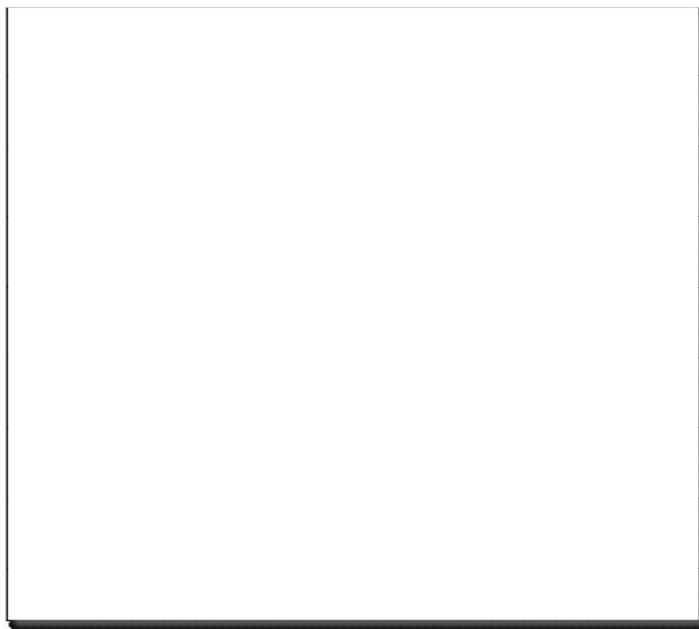


fig.5.1- Curva per la determinazione della frazione di P dell'energia incidente sulla superficie esterna di una parete ad accumulo con doppio vetro, che viene trasferito all'interno (se è previsto l'isolamento notturno occorre incrementare di 0,05 il valore di P)

FSs ricavabile tramite FGSs dalle seguenti tabelle (tab. 5.9).

| Gennaio | <i>latitudine</i>   |    | 36   | 38   | 40   | 42   | 44   | 46   |
|---------|---------------------|----|------|------|------|------|------|------|
|         | <i>Orientamento</i> | 0  | 5128 | 5082 | 5005 | 4895 | 4747 | 4557 |
|         |                     | 15 | 4935 | 4891 | 4819 | 4714 | 4572 | 4390 |
|         |                     | 30 | 4412 | 4369 | 4300 | 4203 | 4073 | 3908 |
|         |                     | 45 | 3776 | 3717 | 3637 | 3533 | 3403 | 3242 |
|         |                     | 90 | 1814 | 1730 | 1637 | 1533 | 1416 | 1285 |

| Luglio | <i>latitudine</i>   |    | 36   | 38   | 40   | 42   | 44   | 46   |
|--------|---------------------|----|------|------|------|------|------|------|
|        | <i>Orientamento</i> | 0  | 1791 | 1948 | 2116 | 2291 | 2473 | 2657 |
|        |                     | 15 | 1984 | 2139 | 2299 | 2464 | 2632 | 2803 |
|        |                     | 30 | 2477 | 2610 | 2745 | 2882 | 3021 | 3161 |
|        |                     | 45 | 2968 | 3069 | 3172 | 3279 | 3389 | 3500 |
|        |                     | 90 | 3476 | 3492 | 3509 | 3533 | 3567 | 3604 |

tab. 5.9 - Flusso solare giornaliero (Wh/mq giorno) trasmesso attraverso una superficie vetrata (vetro singolo da 3 mm) per varie orientazioni (sud=0) per giornate serene di gennaio e luglio

Nelle tabelle 5.10 e 5.11 sono riportati i valori della radiazione solare incidente su superfici orizzontali e verticali (W/mq) alle ore 12 dopo il passaggio attraverso un singolo vetro verticale esposto a sud in giornate chiare di gennaio al variare della latitudine (36-46 gradi nord).

| <i>Latitudine</i> | <i>Mese</i> | <i>Orizzontale</i> | <i>Verticale</i> |
|-------------------|-------------|--------------------|------------------|
| 36                | 1.46        | 513                | 752              |
| 38                | 1.57        | 484                | 758              |
| 40                | 1.70        | 453                | 760              |
| 42                | 1.84        | 422                | 760              |
| 44                | 2.01        | 390                | 756              |
| 46                | 2.20        | 357                | 748              |

tab. 5.10 – Radiazione solare incidente su superfici orizzontali e verticali (W/mq) alle ore 12 dopo il passaggio attraverso un singolo vetro verticale esposto a sud

|           |                     |    |     |     |     |     |     |     |
|-----------|---------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Giugno    | <i>latitudine</i>   |    | 0   | 15  | 30  | 45  | 60  | 90  |
|           | <i>Orientamento</i> | 36 | 351 | 379 | 453 | 547 | 623 | 725 |
|           |                     | 40 | 407 | 431 | 495 | 576 | 642 | 726 |
|           |                     | 44 | 461 | 481 | 535 | 604 | 661 | 726 |
| Luglio    | <i>latitudine</i>   |    | 0   | 15  | 30  | 45  | 60  | 90  |
|           | <i>Orientamento</i> | 36 | 393 | 419 | 489 | 576 | 644 | 724 |
|           |                     | 40 | 447 | 469 | 529 | 603 | 662 | 724 |
|           |                     | 44 | 498 | 517 | 567 | 628 | 678 | 722 |
| Agosto    | <i>latitudine</i>   |    | 0   | 15  | 30  | 45  | 60  | 90  |
|           | <i>Orientamento</i> | 36 | 507 | 530 | 590 | 658 | 708 | 730 |
|           |                     | 40 | 556 | 575 | 624 | 678 | 720 | 724 |
|           |                     | 44 | 600 | 616 | 655 | 696 | 730 | 716 |
| Settembre | <i>latitudine</i>   |    | 0   | 15  | 30  | 45  | 60  | 90  |
|           | <i>Orientamento</i> | 36 | 636 | 667 | 717 | 777 | 837 | 897 |
|           |                     | 40 | 665 | 696 | 746 | 806 | 866 | 926 |
|           |                     | 44 | 694 | 725 | 775 | 835 | 895 | 955 |
|           |                     | 0  | 04  | 18  | 50  | 72  | 88  | 99  |
|           |                     | 44 | 737 | 768 | 818 | 878 | 938 | 998 |

tab.5.11 – Radiazione solare massima incidente su superfici verticali  
(W/mq)

durante giornate chiare estive al variare della latitudine e dell'orientamento delle superfici ( $\text{sud}=0$ ).

Il coefficiente di attenuazione  $C_a$  è ricavabile dalla tabella 5.8.

Pertanto, si può calcolare:

$$FS_s = FGS_s \cdot C_a$$

### 5.9 Fluttuazione della temperatura dell'aria

Le fluttuazioni giornaliere di temperatura  $Dt_f$  sono proporzionali al  $Dt_s$  e dipendono dalla capacità termica dell'edificio e dal modo in cui la radiazione solare viene distribuita sulle superfici interne. Nel "Passive solar design handbook" sono proposte delle semplici relazioni per determinare  $Dt_f$  in funzione del tipo di componente solare impiegato:

$Dt_f=0.74 \cdot Dt_s$       guadagno diretto

$Dt_f=0.65 \cdot Dt_s$       parete Trombe con apertura pari al 3% della superficie captante

$Dt_f=0.39 \cdot Dt_s$       parete ad acqua

$Dt_f=0.13 \cdot Dt_s$       parete ad accumulo senza termocircolazione

Tali relazioni risultano valide per edifici a limitata inerzia termica, pertanto i valori forniti vanno opportunamente corretti.

Nel caso di sistema a guadagno diretto le fluttuazioni possono essere ridotte incrementando la superficie colpita dal sole (per esempio utilizzando vetri diffondenti). Nelle pareti o nei tetti ad acqua le fluttuazioni risultano inversamente proporzionali alla massa d'acqua. Nella parete Trombe le fluttuazioni possono essere ridotte chiudendo le aperture.

In ogni caso l'ampiezza di oscillazione della temperatura dell'aria in funzione di quella della superficie interna si può calcolare con la formula seguente:

$$\Delta_f = \frac{\Delta_{t_f} * A_{sn} * 8.3}{C'g * V + 8.3 A_{sn}}$$

Con  $A_{sn}$  area netta, esclusi gli infissi, della parete di accumulo.

Infine, si possono impiegare delle indicazioni pratiche sulla massa che al crescere dell'FRS è necessaria per evitare surriscaldamenti. Si devono prevedere :

1. 3xFRS litri d'acqua per ogni metro quadro di superficie vetrata, nel caso di tetto o parete ad acqua;
2. 15x FRS Kg di mattoni per ogni metro quadro di superficie vetrata, nel caso di parete in mattoni.



## Capitolo VI

### 6.1 Descrizione del progetto

L'applicazione di architettura bioclimatica effettuata a scopo di studio è la realizzazione di una villa unifamiliare nella città di Napoli.

Il progetto è nato dopo l'analisi bioclimatica del sito (dati climatici, localizzazione dell'edificio, temperature medie, piovosità, umidità, esposizione solare, individuazione dell'inclinazione ottimale delle superfici, ore di sole/giorno, studio dell'ombreggiatura). Tale analisi ha riguardato tutti gli spazi delimitati esaminandone l'orientamento, in merito alla possibilità di captare l'energia solare, oltre che di interagire con i flussi dei venti prevalenti per ottimizzare la ventilazione degli ambienti. Si è cercato di capire quali potrebbero essere le prestazioni richieste dopo l'intervento e anche le valenze spaziali ed estetico- percettive e le implicazioni economiche ed operative.

L'edificio immaginato è costituito da due livelli e con la dislocazione degli ambienti "vissuti" (camere da letto, soggiorno, cucina e studio) a sud e gli ambienti meno utilizzati a nord, in modo da costituire una sorta di "cuscinetto" termico di protezione dalla zona notoriamente più fredda (nord). Al piano terra (fig. 6.1) è ubicata la zona giorno, soggiorno, cucina, studio, e al piano superiore ( fig. 6.2) la zona notte con tre camere da letto.

I bagni presentano aperture sul lato est in quanto sono utilizzati maggiormente di mattina, mentre la cucina e lo studio hanno finestre rispettivamente ad est ed ovest.

Il sistema di riscaldamento prevede l'utilizzo dell'energia solare come fonte primaria di approvvigionamento ma è presente anche un impianto di riscaldamento ausiliario che deve ripristinare le condizioni di comfort termico

nei momenti di emergenza. Al piano terra, nella parte frontale, sono collocate due serre solari che hanno la funzione di riscaldare la cucina, il soggiorno e lo studio; al primo piano sono disposti tre muri Trombe per riscaldare le camere da letto (fig. 6.3). Nel deposito al piano terra, nel garage e nelle scale non vi è alcun sistema di riscaldamento, mentre nei bagni c'è soltanto un sistema tradizionale utilizzabile secondo le esigenze degli utenti.

L'ingresso principale è sul lato nord (fig. 6.4); direttamente nel corpo scala e separato dal soggiorno mediante una parete in modo da costituire una sorta di camera stagna. Un altro ingresso è collocato a sud, nel soggiorno, per l'utilizzo estivo oppure in giornate calde invernali come accesso diretto al giardino.

Tutti i locali sono aerati ed illuminati direttamente dall'esterno e non vi sono aperture a nord. Il soggiorno riceve la luce attraverso tre finestre ed una porta-finestrino. Lo studio ha come unico elemento divisorio dal soggiorno una parete a metà altezza per consentire all'aria calda di distribuirsi il più uniformemente possibile nell'ambiente.

Gli ambienti al piano superiore sono in comunicazione con il sottotetto che funge da protezione termica in aggiunta al tradizionale isolamento dei solai di copertura (fig. 6.5 e fig. 6.6). Il bagno ed il ripostiglio al primo piano, non riscaldati dagli elementi solari, presentano un'elevata superficie di scambio termico in comune con le camere da letto adiacenti, incrementata da una particolare forma ad elle.

In definitiva, l'intero edificio sfrutta l'irradiazione solare per riscaldare ed illuminare i locali con un notevole risparmio energetico.

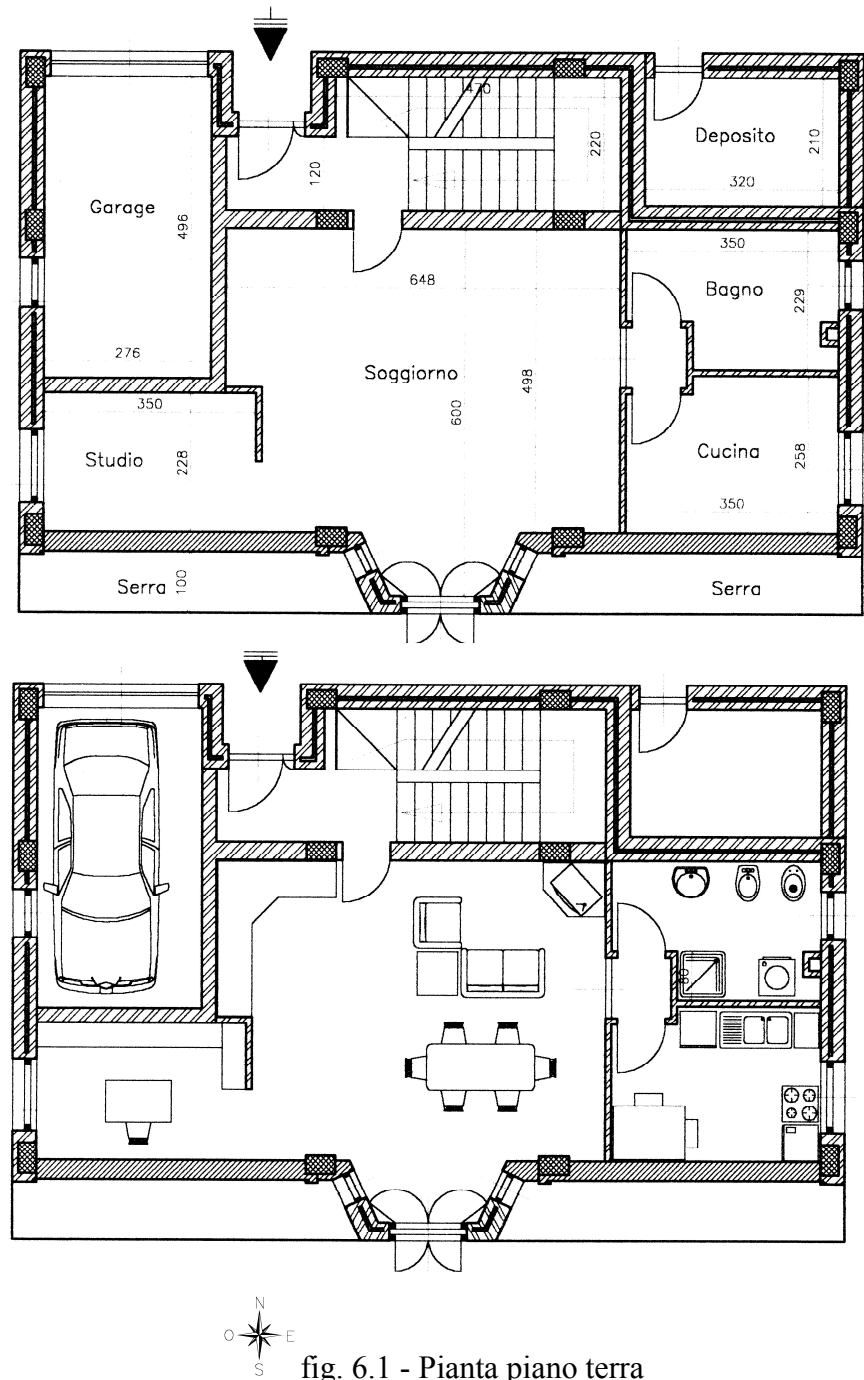


fig. 6.1 - Pianta piano terra

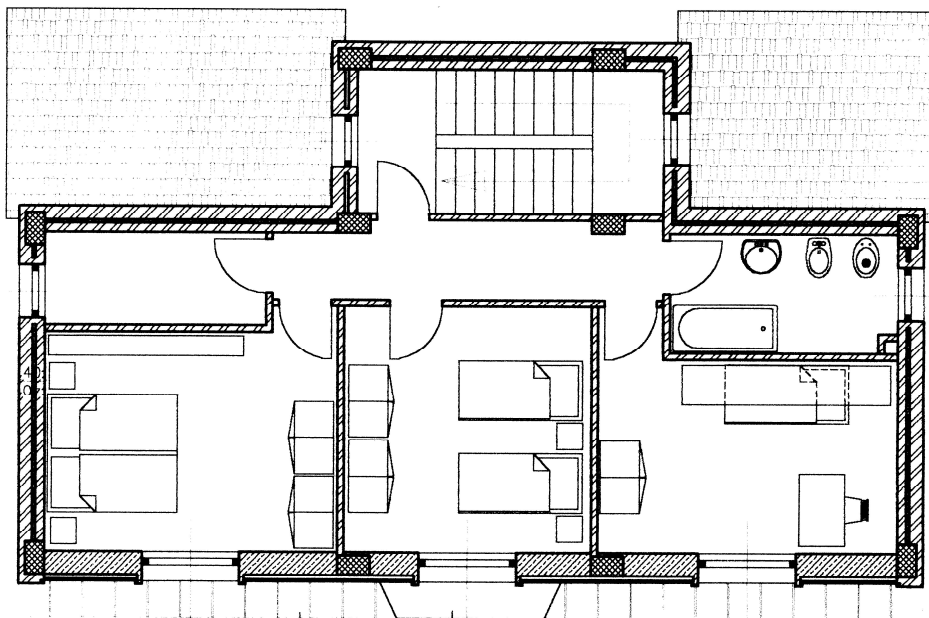
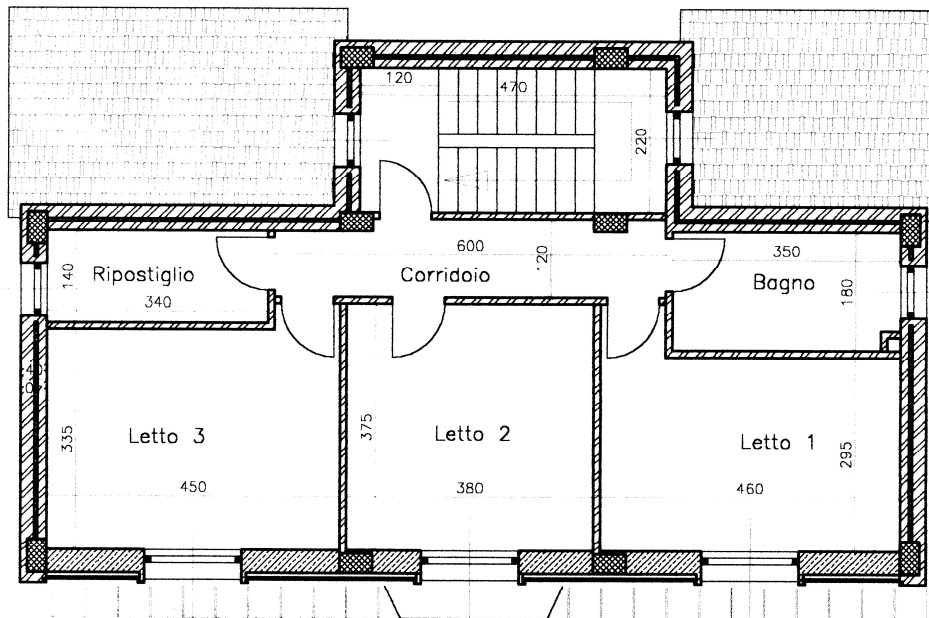


fig. 6.2 - Pianta piano primo



fig. 6.3 - Prospetto sud

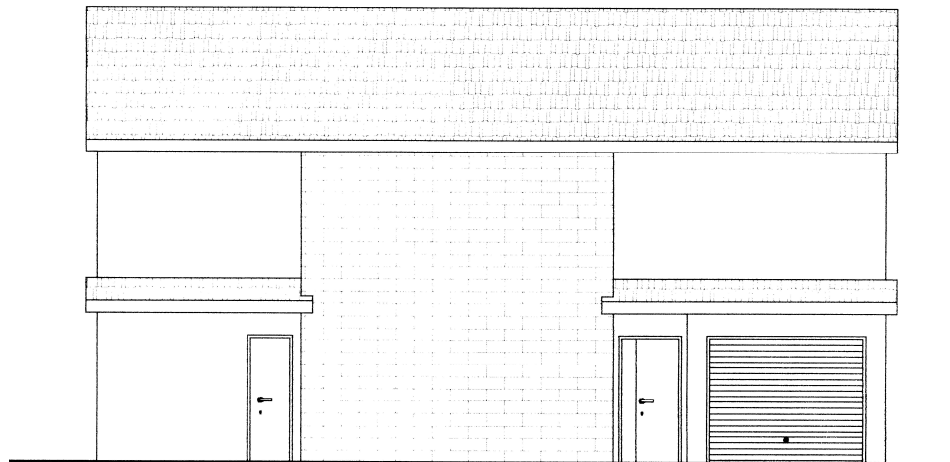


fig. 6.4 - Prospetto nord

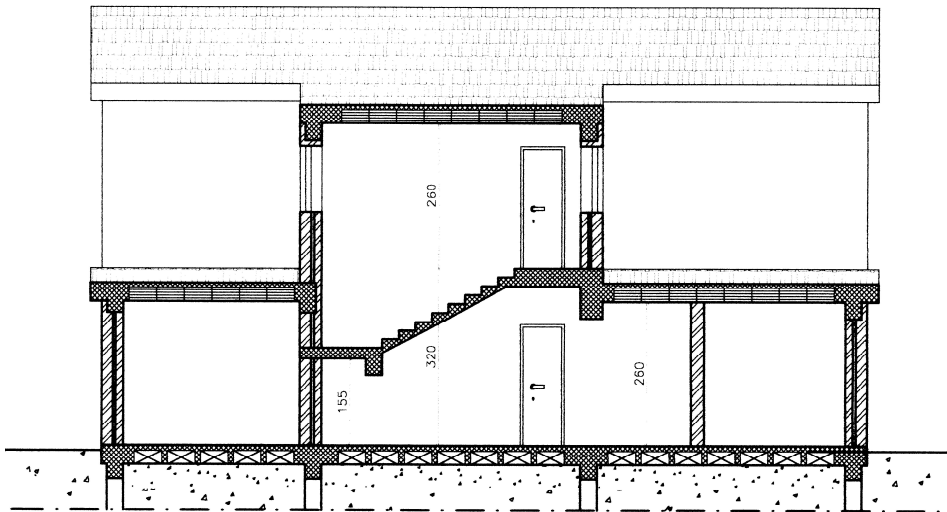


fig. 6.5 – Sezione longitudinale

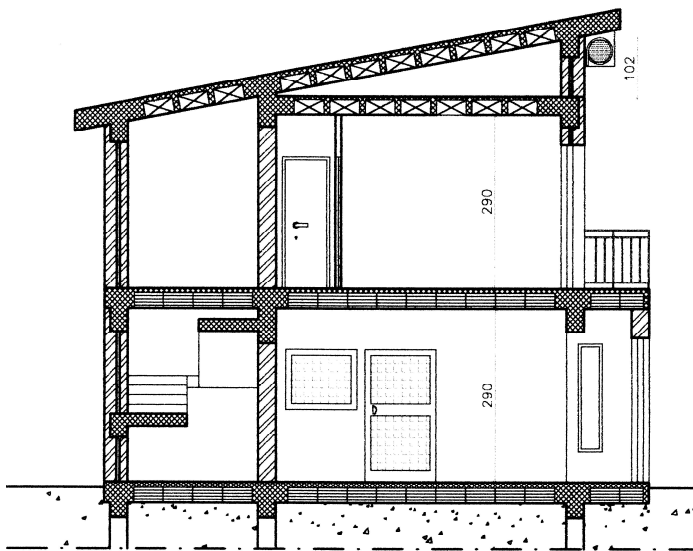


fig. 6.5 – Sezione trasversale

## 6.2 Isolamento dell'involucro edilizio

Le prestazioni dell'involucro (fig.6.7) garantiscono il comfort termico e igrometrico degli spazi confinati e il contenimento dei consumi energetici mediante il soddisfacimento dei requisiti prestazionali ambientali (mantenimento della temperatura dell'aria negli spazi abitativi nelle stagioni di esercizio degli impianti di riscaldamento entro i limiti di legge di 20 – 22 °C; mantenimento delle condizioni di comfort termico negli ambienti interni nel periodo estivo) e tecnologici (controllo dei fenomeni di condensa superficiale e interstiziale; controllo della combinazione “Temperatura-Umidità - Ventilazione”, resistenza termica e inerzia termica ai fini del risparmio energetico e del comfort ambientale interno).

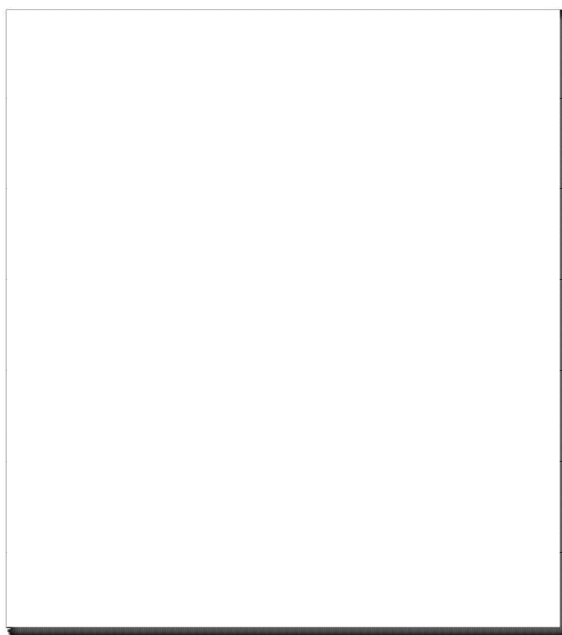


fig.6.7 – Isolamento dell'involucro edilizio

### 6.2.1 Isolamento delle pareti esterne

Il sistema di isolamento termico delle chiusure d'ambito esterne è stato scelto per migliorare le condizioni di comfort dell'edificio regolando oltre al flusso di calore anche il passaggio del rumore fra l'interno e gli ambienti circostanti. Sono state progettate murature a doppia foderà con intercapedine isolata (fig.6.8) con pannelli preaccoppiati che consentono di ripristinare la continuità delle pareti in laterizio garantendo la tenuta all'aria e al rumore. Tali pannelli hanno, dunque, il vantaggio di svolgere entrambe le funzioni richieste: la tenuta all'aria, delegata a fibre di poliestere, e l'assorbimento acustico, delegato alla lamina fono impedita accoppiata su di una faccia del pannello.

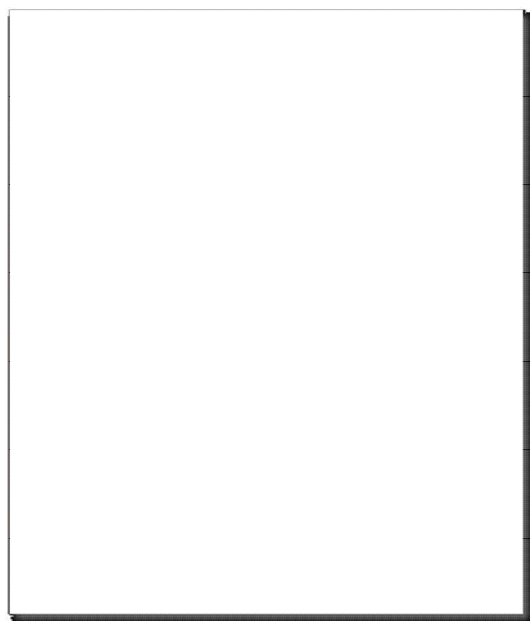


fig.6.8 - Doppia foderà con intercapedine isolata



### 6.2.2 Ventilazione del sottotetto

Per migliorare il comfort igrotermico degli ambienti interni si è pensato di favorire la circolazione dell'aria negli spazi racchiusi tra l'ultimo solaio piano e la vera e propria copertura. Sull'estradosso del solaio di falda opportunamente coibentato con poliuretano espanso, è collocata un'apposita intercapedine ventilata (fig. 6.9) di spessore variabile tra 10 cm circa. Per la formazione di tale intercapedine si possono posare listelli di legno, perpendicolari alla linea di gronda: su questa listellatura deve essere posato un tavolato continuo e quindi i listelli orizzontali per il posizionamento delle tegole. L'utilizzazione di listelli di supporto agli elementi di copertura consente l'attivazione di una micro ventilazione sottotegola, che favorisce la respirazione degli elementi di cotto e li mantiene asciutti, aumentando nelle stagioni invernali la loro resistenza al gelo. Il naturale punto di ingresso dell'aria per la ventilazione sottomanto è lungo la linea di gronda: da qui l'aria, riscaldata dall'irraggiamento solare, tende a risalire sino alla linea di colmo. Per facilitare questo processo di ventilazione naturale le tegole formanti le linee di colmo devono essere fissate con staffe metalliche e devono essere inseriti elementi speciali di ventilazione lungo una fascia di tegole parallela al colmo, uno ogni cinque tegole standard.

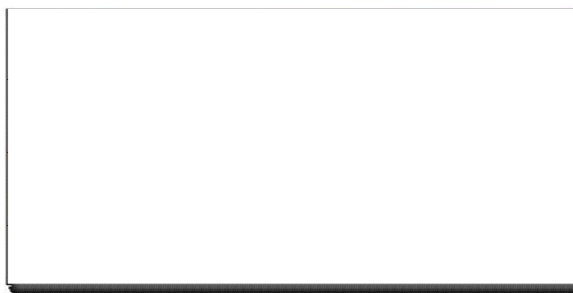


fig.6.9 - Schema di tetto ventilato

### 6.3 Predimensionamento degli elementi solari passivi

La progettazione dei sistemi solari che segue è basata sulle teorie proposte da Edward Marzia, il quale fornisce le tabelle di dimensionamento già riportate nel quarto capitolo.

#### 6.3.1 Serra

La serra (fig. 6.10) costituisce uno spazio cuscinetto tra esterno e interno, capace di evitare dispersioni termiche e di accumulare calore. L'aria preriscaldata entra nell'edificio attraverso bocchette opportunamente predisposte, in alto, nella parete di separazione tra serra e locale retrostante. Ha una struttura insistente su fondazioni proprie e collegata all'edificio tramite attacchi elastici.

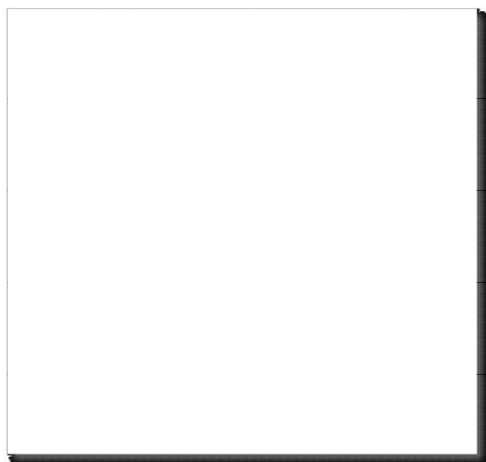


fig. 6. 10 - Serra addossata

Il sistema è molto difficile da dimensionare a causa della complessità degli scambi termici con l'ambiente adiacente e delle molteplici variabili in gioco (clima, latitudine, massa di accumulo termico, dimensioni ed isolamenti).

Lo scambio termico con l'ambiente adiacente è condizionato dallo spessore del muro divisorio, dalla sua superficie e dal colore.

La parete addossata alla serra è stata dimensionata in base ai dati presenti nella tabella 4. 3 ricavando una superficie pari a  $0.6 \times A_{pav.} = 27m^2$

Lo spessore per pareti in mattoni comuni è 30 cm (tab.4. 4).

### **6.3.2 Muro Trombe**

La soluzione dei muri Trombe (fig.6.11) consiste nella trasformazione in collettori solari ad aria di una parte delle pareti dell'edificio, quelle esposte a sud. L'aria di ricambio viene preriscaldata all'interno di una lamina costituita, da un lato, dalla parete esistente verniciata in nero e, dall'altro, da un vetro che determina l'effetto serra. La distribuzione dell'aria avviene tramite aperture autoregolabili.

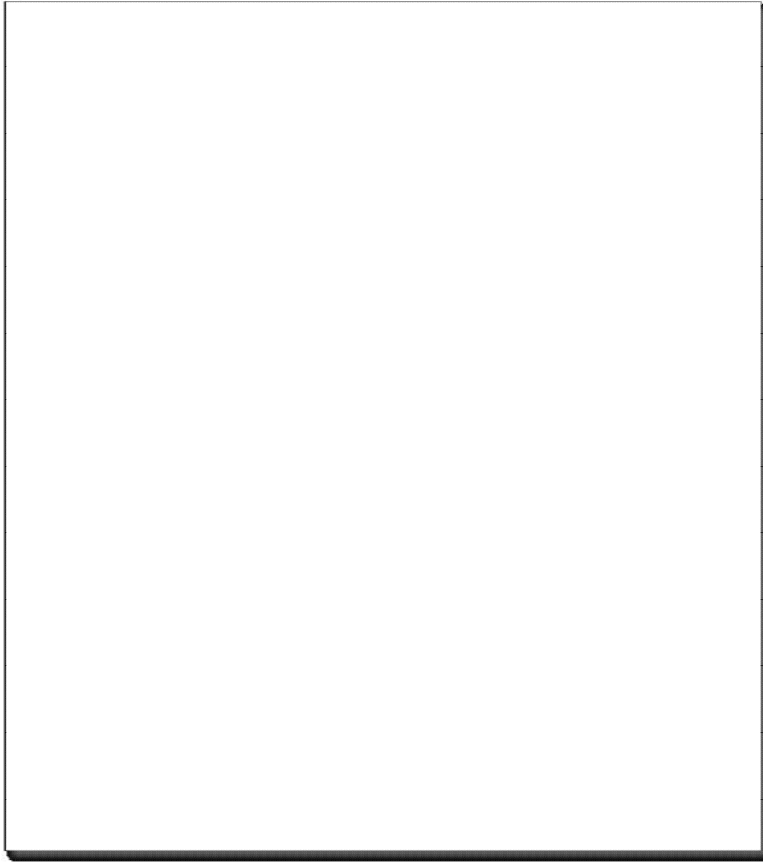


fig.6.11 - Schema di funzionamento del muro Trombe

Dalla tabella 4. 1 si ricava la superficie pari a  $0.4 \times A_{\text{pav.}} = 20 \text{ m}^2$

Lo spessore per muri in mattoni comuni è 35 cm (tab.4. 2).

#### 6.4 Predimensionamento dei sistemi solari attivi

Dopo aver analizzato l'utenza, la progettazione di questi sistemi solari è stata eseguita considerando i dati forniti dal Ministero dell'Ambiente e i valori indicativi trovati per sistemi simili presenti sul mercato.

### 6.4.1 Pannelli solari

I pannelli solari (fig.6.12) posti sul tetto sono in grado di fornire la maggior parte dell'acqua calda richiesta dell'utenza; funzionano secondo un principio molto semplice: catturare l'energia che giunge dal Sole sulla Terra e utilizzarla per produrre acqua calda.

I dati a disposizione per il dimensionamento sono:

- Consumo di acqua calda: standard (250 litri)
- Fascia geografica: sud
- Ubicazione della casa: pianura
- Numero di persone:5
- Orientamento del tetto: sud

Si sono ottenuti i seguenti valori:

- capacità serbatoio di accumulo: 300 litri
- superficie dei pannelli solari necessaria: 5 mq
- numero di pannelli: 2-3

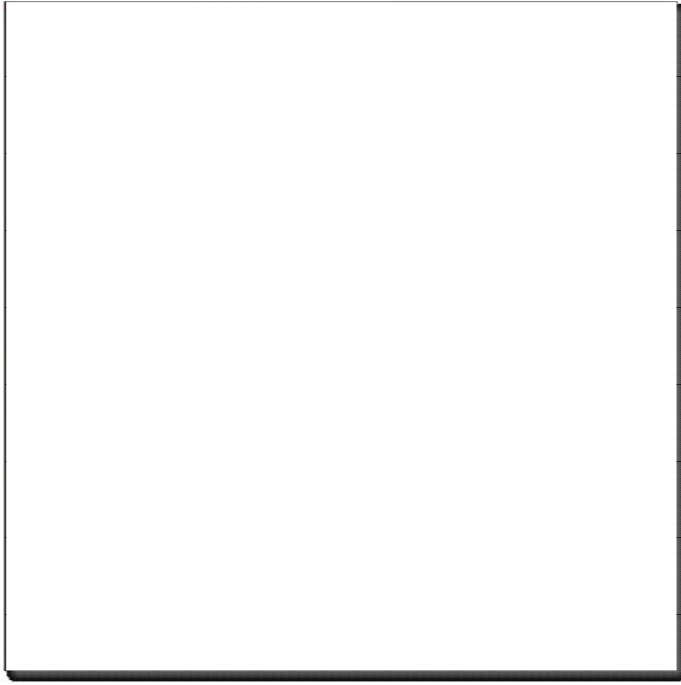


fig.6.12 – Pannelli solari

#### **6.4.2 Pannelli fotovoltaici**

I pannelli fotovoltaici (fig. 6.13), chiamati anche moduli fotovoltaici, installati sul tetto, generano corrente elettrica quando vengono esposti alla luce del Sole.

Purtroppo la tecnologia attuale ci permette di convertire in energia elettrica solo il 6- 15 % dell'energia solare che colpisce il pannello fotovoltaico.

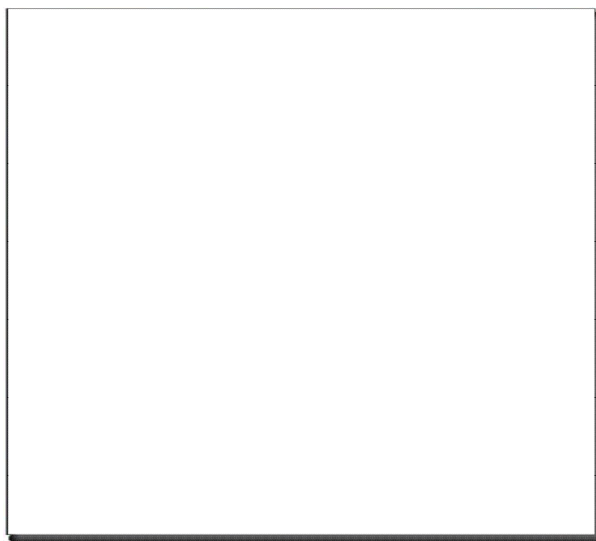


fig.6.13 – Pannelli fotovoltaici

Essendo l'abitazione progettata in una località nella quale il soleggiamento è di  $5 \text{ kWh/m}^2$  giorno, i consumi ipotizzabili sono di  $6 \text{ kWh/giorno}$  e sapendo che il rendimento globale dell'impianto fotovoltaico è pari al 10% si determina la superficie totale delle fotocelle:

$$6 \text{ kWh/giorno} / (5 \text{ kWh/m}^2 \text{ giorno} \times 0,10) = 12 \text{ m}^2$$

Per calcolare la potenza di picco dell'impianto fotovoltaico si moltiplica la superficie totale delle fotocelle ( $\text{m}^2$ ) per il rendimento dell'impianto e per la costante solare ( $\text{kWh/m}^2$ ) che è pari a  $1 \text{ kW/m}^2$ . Pertanto, si è ottenuto un valore di  $1,2 \text{ kW}_p$ .

## 6.4 Predimensionamento dei sistemi di ventilazione naturale

La superficie totale delle aperture di ventilazione progettate è superiore al 3% della superficie del pavimento del locale interessato.

I doppi infissi (uno interno ed uno esterno) hanno il duplice vantaggio di creare un' intercapedine di aria che serve da isolante e di permettere un'aerazione controllata degli ambienti.

Sono previste finestre oscillo battenti (fig. 6.14), conosciute anche con il nome di "anta e ribalta", proprio per il fatto che, grazie all'applicazione di una speciale ferramenta, offrono una duplice apertura, quella alla francese e quella cosiddetta a vasistas. I principali vantaggi assicurati da questo tipo di finestra sono la regolazione della ventilazione dei locali e il ridotto ingombro, ma possono essere maggiori anche le prestazioni di tenuta all'aria e all'acqua, in virtù della compressione dell'anta contro il telaio fisso assicurata dalla ferramenta.

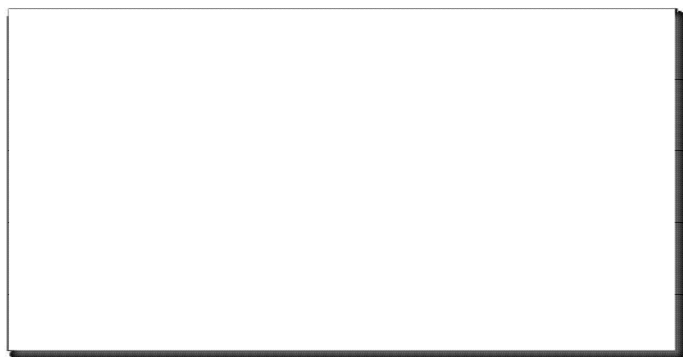


fig. 6.14 - Finestra oscillo battente



### 6.5 Predimensionamento dei sistemi di illuminazione naturale

La casa basa la sua illuminazione fundamentalmente sulla luce del giorno (fig. 6.15) ed è concepita per far sempre meno affidamento sull'illuminazione artificiale.

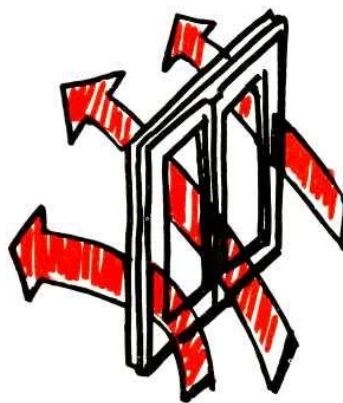


fig. 6.15 – Schema del passaggio della radiazione solare attraverso una finestra

Nei locali esposti a sud, per sfruttare al massimo l'azione dei raggi solari, le aperture illuminanti sono state posizionate al centro delle pareti esterne. Per le stanze esposte ad est o ad ovest, invece, è sembrato opportuno traslare le zone finestate verso sud (compatibilmente con la prevedibile ottimale disposizione dell'arredamento). Per consentire il passaggio dei raggi ultravioletti (intercettati dai vetri di uso comune) si è deciso di impiegare speciali cristalli al quarzo.

Per ciascun locale d'abitazione la dimensione minima delle zone finestate (apribili) è par almeno ad 1/8 della superficie del pavimento e l'ampiezza

delle superfici finestrate è tale da assicurare un fattore medio di luce diurna non inferiore al 2%.

Non va dimenticato che negli spazi destinati al riposo e al sonno i serramenti sono dotati di dispositivi regolabili di oscuramento tali da poter eliminare, soprattutto nelle ore notturne, le proiezioni localizzate ed eventuali fonti illuminanti esterne.

Per sfruttare al meglio la luce naturale, favorendo l'accesso della luce, si è prevista una pavimentazione chiara sotto le finestre, una tinteggiatura con colori tenui per le pareti che danno sul giardino e per i muri esterni. Per incrementare il riverbero della luce sulle superfici interne, si fa affidamento sull'utilizzo di decorazioni, mobili e tappeti dai colori chiari.

Per far penetrare la luce, tenendo puliti i vetri ed eliminando qualsiasi ostacolo, è stata lasciata libera la zona delle finestre.

## Capitolo VII

### 7.1 Verifica della fattibilità tecnica dell'intervento

Per poter considerare corretto tecnicamente il progetto elaborato sono stati eseguiti la verifica delle dispersioni termiche ed il calcolo del fabbisogno energetico dell'edificio secondo il D.M. 27-07-2005 e D.Lgs. n° 192/05 e la determinazione del calore ausiliario necessario per ciascun ambiente servito da un sistema solare.

I dati ottenuti dimostrano l'adeguatezza dell'ipotesi progettuale

### 7.2 Verifica termica

#### 1. Informazioni generali

- Edificio sito in Napoli
- Progetto relativo a lavori di realizzazione di un edificio unifamiliare
- Classificazione dell'edificio: Zona giorno - Classificazione: E1 (1);  
Zona notte - Classificazione: E1 (1)

- Numero delle unità abitative: 1
- Committente: Università degli studi di Napoli "Federico II"

L'edificio non rientra tra quelli di proprietà pubblica o adibiti ad uso pubblico ai fini dell'articolo 5, comma 15, del D.P.R. del 26 agosto 1993, n. 412 (utilizzo delle fonti rinnovabili di energia) e dell'allegato I, comma 14 del decreto legislativo.

#### 2. Parametri climatici della località

- Temperatura minima di progetto dell'aria esterna secondo norma UNI 5364 e successivi aggiornamenti: 2,00 °C
- Umidità relativa esterna: 48,80 %

- Gradi giorno della zona d'insediamento, determinati in base al D.P.R. 412 del 26/08/93 e successive modifiche ed integrazioni: 1034 GG
- Zona climatica: C
- Giorni totali di riscaldamento: 137
- Velocità media vento: 2,30 m/s

Temperature medie mensili:

| GEN   | FEB   | MAR   | APR   | MAG   | GIU   | LUG   | AGO   | SET   | OTT   | NOV   | DIC   |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 10,50 | 10,60 | 13,20 | 16,00 | 19,50 | 24,10 | 26,70 | 26,50 | 23,80 | 19,60 | 15,50 | 12,10 |

Umidità relative medie mensili:

| GEN   | FEB   | MAR   | APR   | MAG   | GIU   | LUG   | AGO   | SET   | OTT   | NOV   | DIC   |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 66,90 | 68,10 | 61,52 | 63,67 | 61,88 | 61,70 | 52,07 | 59,04 | 60,27 | 64,57 | 67,72 | 65,34 |

Irradiazioni medie mensili (MJ/m<sup>2</sup>):

|       | GEN   | FEB   | MAR   | APR   | MAG   | GIU   | LUG   | AGO   | SET   | OTT   | NOV   | DIC  |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| N     | 2,20  | 3,00  | 4,10  | 5,70  | 8,30  | 10,10 | 9,50  | 6,70  | 4,50  | 3,30  | 2,40  | 1,90 |
| NE    | 2,50  | 3,80  | 6,10  | 9,10  | 12,30 | 14,10 | 14,20 | 11,60 | 7,80  | 4,90  | 2,80  | 2,20 |
| E     | 5,20  | 7,20  | 9,80  | 12,70 | 15,30 | 16,70 | 17,50 | 16,00 | 12,50 | 9,60  | 5,90  | 4,50 |
| SE    | 8,80  | 10,30 | 12,00 | 13,10 | 13,70 | 13,80 | 14,90 | 15,50 | 14,50 | 13,50 | 9,60  | 7,70 |
| S     | 11,10 | 12,20 | 12,50 | 11,40 | 10,40 | 9,80  | 10,50 | 12,30 | 14,00 | 15,50 | 11,90 | 9,80 |
| SW    | 8,80  | 10,30 | 12,00 | 13,10 | 13,70 | 13,80 | 14,90 | 15,50 | 14,50 | 13,50 | 9,60  | 7,70 |
| W     | 5,20  | 7,20  | 9,80  | 12,70 | 15,30 | 16,70 | 17,50 | 16,00 | 12,50 | 9,60  | 5,90  | 4,50 |
| NW    | 2,50  | 3,80  | 6,10  | 9,10  | 12,30 | 14,10 | 14,20 | 11,60 | 7,80  | 4,90  | 2,80  | 2,20 |
| Oriz. | 6,70  | 9,60  | 13,90 | 18,90 | 23,70 | 26,30 | 27,20 | 23,90 | 17,80 | 12,80 | 7,60  | 5,80 |

#### 4. Dati tecnici e costruttivi dell'edificio e delle relative strutture

Volume delle parti di edificio abitabili o agibili al lordo 438,92 m<sup>3</sup>

delle strutture che li delimitano (V)

Superficie che delimita il volume (S) 348,66 m<sup>2</sup>

---

|                                                |                       |
|------------------------------------------------|-----------------------|
| Rapporto S/V                                   | 0,79 l/m              |
| Superficie utile calpestabile dell'edificio    | 107,13 m <sup>2</sup> |
| Superficie vetrate                             | 18,48 m <sup>2</sup>  |
| Rapporto Superficie vetrate / Superficie utile | 0,1725                |
| Caratteristiche termiche interne delle zone:   |                       |
| Zona giorno: Temperatura 20,00 °C              |                       |
| Zona notte: Temperatura 20,00 °C               |                       |

## 5. Dati relativi agli impianti

- a) Tipologia dell'impianto termico: Caldaia a combustione standard
- b) Fluido termovettore: acqua
- c) Valore nominale della potenza termica utile: 28,00 Kw
- d) Combustibile utilizzato: metano
- e) Sistemi solari passivi: serra addossata e muro Trombe-Michelle
- f) Sistemi solari attivi: Impianto solare termico con pannelli e Impianto fotovoltaico

## 6. Principali risultati dei calcoli

Ventilazione minima (UNI EN 832 - 5.2.2)

Ricambi d'aria minimi: 0,50 m<sup>3</sup>/h

Ventilazione naturale (UNI EN 832 - 5.2.3)

Ricambi d'aria naturali: 0,60 m<sup>3</sup>/h

Coefficiente di dispersione termica per ventilazione (UNI EN 832 - 5.1)

Dispersione a volume: 3,60 W/m<sup>3</sup>

*Zona giorno*

|       |                                                             |           |    |
|-------|-------------------------------------------------------------|-----------|----|
| QL    | Dispersione per trasmissione e ventilazione                 | 12.455,74 | MJ |
| Qv    | Dispersione per ventilazione                                | 3.064,52  | MJ |
| Qse   | Apporti solari esterni                                      | 387,51    | MJ |
| Qsi   | Apporti solari interni                                      | 3.523,15  | MJ |
| Qi    | Apporti interni                                             | 5.870,88  | MJ |
| Qh    | Fabbisogno utile ideale in regime continuo                  | 3.148,48  | MJ |
| Qhvs  | Fabbisogno utile ideale in regime non continuo              | 2.550,99  | MJ |
| Qhr   | Fabbisogno utile reale in regime continuo                   | 3.381,09  | MJ |
| Qhrvs | Fabbisogno utile reale in regime non continuo               | 2.739,48  | MJ |
| Qp    | Energia termica fornita in regime continuo                  | 6.507,62  | MJ |
| Qpvs  | Energia termica fornita in regime non continuo              | 5.822,25  | MJ |
| Q     | Fabbisogno reale di energia primaria in regime continuo     | 13.859,71 | MJ |
| Qr    | Fabbisogno reale di energia primaria in regime non continuo | 9.748,81  | MJ |
| Qpw   | Energia termica reale fornita per ACS                       | 7.947,67  | MJ |

*Zona notte*

|       |                                                             |           |    |
|-------|-------------------------------------------------------------|-----------|----|
| QL    | Dispersione per trasmissione e ventilazione                 | 12.146,34 | MJ |
| Qv    | Dispersione per ventilazione                                | 3.100,68  | MJ |
| Qse   | Apporti solari esterni                                      | 411,58    | MJ |
| Qsi   | Apporti solari interni                                      | 3.773,75  | MJ |
| Qi    | Apporti interni                                             | 4.144,46  | MJ |
| Qh    | Fabbisogno utile ideale in regime continuo                  | 3.913,04  | MJ |
| Qhvs  | Fabbisogno utile ideale in regime non continuo              | 3.169,44  | MJ |
| Qhr   | Fabbisogno utile reale in regime continuo                   | 4.202,16  | MJ |
| Qhrvs | Fabbisogno utile reale in regime non continuo               | 3.403,61  | MJ |
| Qp    | Energia termica fornita in regime continuo                  | 6.626,63  | MJ |
| Qpvs  | Energia termica fornita in regime non continuo              | 5.777,23  | MJ |
| Q     | Fabbisogno reale di energia primaria in regime continuo     | 13.977,79 | MJ |
| Qr    | Fabbisogno reale di energia primaria in regime non continuo | 9.695,82  | MJ |
| Qpw   | Energia termica reale fornita per ACS                       | 5.982,23  | MJ |

## 7. *Dati impianto termico*

Generatore: Caldaia murale mista istantanea ecologica, 28KW

Tipologia: Caldaia a combustione standard

Potenza nominale al focolare: 28,00 kW

Potenza nominale utile: 25,96 kW

Temperatura acqua in caldaia: 62,00 °C

Energia pompe di circolazione: 88 W

Energia assorbita dal bruciatore: 80 W

Ore/giorno di attivazione: 12

Rendimento utile al 100% di potenza: 93,00 %

Rendimento utile al 30% di potenza: 92,00 %

Perdite al camino (bruciatore acceso): 6,20 %

Perdite al camino (bruciatore spento): 0,10 %

Perdite dall'involucro del generatore: 1,10 %

Rendimento di distribuzione (UNI 10348 - 6)

Rendimento impianto: 0,96 %

Rendimento di regolazione (UNI 10348 - 4)

Sistema di regolazione: Solo di zona

Tipologia di prodotto: Regolatore modulante (banda passante 1 °C)

Rendimento di emissione (UNI 10348 - 5)

Terminale di erogazione: Radiatori



|       |                                                             |           |    |
|-------|-------------------------------------------------------------|-----------|----|
| QL    | Dispersione per trasmissione e ventilazione                 | 24.602,08 | MJ |
| Qv    | Dispersione per ventilazione                                | 6.165,20  | MJ |
| Qse   | Apporti solari esterni                                      | 799,09    | MJ |
| Qsi   | Apporti solari interni                                      | 7.296,90  | MJ |
| Qi    | Apporti interni                                             | 10.015,34 | MJ |
| Qhw   | Fabbisogno utile ideale per ACS (totale annuale)            | 11.507,30 | MJ |
| Qrhw  | Energia per ACS persa e recuperata in riscaldamento         | 340,99    | MJ |
| Qh    | Fabbisogno utile ideale in regime continuo                  | 7.061,52  | MJ |
| Qhvs  | Fabbisogno utile ideale in regime non continuo              | 5.720,43  | MJ |
| Qhr   | Fabbisogno utile reale in regime continuo                   | 7.583,25  | MJ |
| Qhrvs | Fabbisogno utile reale in regime non continuo               | 6.143,09  | MJ |
| Qp    | Energia termica fornita in regime continuo                  | 13.134,25 | MJ |
| Qpvs  | Energia termica fornita in regime non continuo              | 11.599,48 | MJ |
| Q     | Fabbisogno reale di energia primaria in regime continuo     | 27.837,50 | MJ |
| Qr    | Fabbisogno reale di energia primaria in regime non continuo | 19.444,63 | MJ |
| Qpw   | Energia termica reale fornita per ACS (totale annuale)      | 13.929,90 | MJ |
| etaP  | Rendimento di Produzione                                    | 47,18     | %  |
| Qw    | Fabbisogno di Energia Primaria per ACS (totale annuale)     | 30.599,89 | MJ |

*Verifiche*

|       |                                                                                                             | Valore<br>effettivo | Valore<br>limite |                        |                                 |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------|------------------------|---------------------------------|
| Epi   | Indice prestazione energetica per climatizzazione invernale                                                 | 54,41               | 54,41            | kWh/<br>m <sup>2</sup> | VERIFICATO<br>(All. I, comma 6) |
| etaU  | Rendimento termico utile (comma 6, All. I, D.Lgs. 311/2006)                                                 | 93,00               | 92,83            | %                      | VERIFICATO                      |
| eta30 | Rendimento a carico parziale                                                                                | 82,00               | 84,24            | %                      | VERIFICATO                      |
| etaG  | Rendimento Globale medio stagionale                                                                         | 69,42               | 69,24            | %                      | VERIFICATO                      |
| U lim | Trasmittanze strutture verticali, orizzontali ed infissi (All. C D.Lgs. 311/2006)                           |                     |                  |                        | VERIFICATO                      |
| U lim | Trasmittanze strutture verticali, orizzontali ed infissi (All. C e All. I, c. 1, D.Lgs. 311/2006) Ulim +30% |                     |                  |                        | VERIFICATO                      |
| U lim | Trasmittanze divisori (comma 7, All. I, D.Lgs. 311/2006)                                                    |                     |                  |                        | VERIFICATO                      |
| Ms    | Massa superficiale pareti opache (D.Lgs. 311/2006, All. I, comma 9, lettera b)                              |                     |                  |                        | VERIFICATA                      |
| Cond  | Verifica condense interstiziali e superficiali                                                              |                     |                  |                        | VERIFICATA                      |

*Fabbisogni per climatizzazione invernale*

Fabbisogno di combustibile: 133,31 m<sup>3</sup>

Fabbisogno di energia elettrica da rete: 1.104,77 kWh

Fabbisogno di energia elettrica da produzione locale: 0,00 kWh

*Fabbisogni per produzione di acqua calda sanitaria*

Fabbisogno di combustibile: 770,79 m<sup>3</sup>

Fabbisogno di energia elettrica da rete: 437,76 kWh

Fabbisogno di energia elettrica da produzione locale: 0,00 kWh

## CALDAIA A COMBUSTIONE STANDARD

DESCRIZIONE: Caldaia murale mista istantanea ecologica, 28KW

|                                                |          |                |
|------------------------------------------------|----------|----------------|
| Volume lordo riscaldato                        | 438,92   | m <sup>3</sup> |
| Superficie involucro edilizio                  | 348,66   | m <sup>2</sup> |
| Rapporto S / V                                 | 0,7944   |                |
| Superficie utile calpestabile                  | 107,1300 | m <sup>2</sup> |
| Superficie totale vetrate                      | 18,4800  | m <sup>2</sup> |
| Rapporto Superficie vetrate / Superficie utile | 0,1725   |                |
| Potenza nominale al focolare                   | 28,00    | Kw             |
| Potenza nominale utile                         | 25,96    | Kw             |
| Temperatura acqua in caldaia                   | 62,00    | °C             |
| Energia pompe di circolazione                  | 88       | W              |
| Energia assorbita dal bruciatore               | 80       | W              |
| Ore/giorno di attivazione                      | 12       |                |
| Rendimento utile al 100% di potenza            | 93,00    | %              |
| Rendimento utile al 30% di potenza             | 92,00    | %              |
| Perdite al camino (bruciatore acceso)          | 6,20     | %              |

|                                       |                                               |   |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------|---|
| Perdite al camino (bruciatore spento) | 0,10                                          | % |
| Perdite dall'involucro del generatore | 1,10                                          | % |
| Rendimento impianto                   | 0,96                                          | % |
| Sistema di regolazione                | Solo di zona                                  |   |
| Tipologia di prodotto                 | Regolatore modulante<br>(banda passante 1 °C) |   |
| Funzionamento                         | Intermittente                                 |   |
| Terminale di erogazione               | Radiatori                                     |   |

|      | DESCRIZIONE                                         | novembre | dicembre | gennaio  | febbraio | marzo   | totale   | U.M  |
|------|-----------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|------|
| QL   | Dispersione per trasmissione e ventilazione         | 2.892,0  | 5.246,4  | 6.309,0  | 5.638,5  | 4.515,9 | 24.602,  | MJ   |
| Qv   | Dispersione per ventilazione                        | 724,75   | 1.314,7  | 1.581,0  | 1.412,9  | 1.131,6 | 6.165,2  | MJ   |
| Qse  | Apporti solari esterni                              | 157,95   | 131,97   | 150,29   | 159,37   | 199,51  | 799,09   | MJ   |
| Qsi  | Apporti solari interni                              | 1.402,4  | 1.149,7  | 1.314,8  | 1.468,6  | 1.961,1 | 7.296,9  | MJ   |
| Qi   | Apporti interni                                     | 1.989,8  | 2.056,1  | 2.056,1  | 1.857,1  | 2.056,1 | 10.015,  | MJ   |
| Vw   | Volume giornaliero di ACS richiesto                 | 334,73   | 334,73   | 334,73   | 334,73   | 334,73  | 0,00     | l/gg |
| Qhw  | Fabbisogno utile ideale per ACS (totale annuale)    | 945,81   | 977,33   | 977,33   | 882,75   | 977,33  | 11.507,  | MJ   |
| Qrh  | Energia per ACS persa e recuperata in riscaldamento | 39,82    | 77,16    | 77,16    | 69,69    | 77,16   | 340,99   | MJ   |
| Qh   | Fabbisogno utile ideale in regime continuo          | -12,53   | 1.838,15 | 2.712,49 | 2.089,13 | 434,28  | 7.061,52 | MJ   |
| Qhvs | Fabbisogno utile ideale in regime non continuo      | 53,73    | 1.474,4  | 2.155,1  | 1.657,4  | 379,41  | 5.7243   | MJ   |
| etaE | Rendimento di Emissione                             | 96,00    | 96,00    | 96,00    | 96,00    | 96,00   | 0,00     | %    |
| etaC | Rendimento di                                       | 97,00    | 97,00    | 97,00    | 97,00    | 97,00   | 0,00     | %    |

|        |                                                             |         |         |         |         |         |           |    |
|--------|-------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|----|
|        | Regolazione                                                 |         |         |         |         |         |           |    |
| Qhr    | Fabbisogno utile reale in regime continuo                   | -13,45  | 1.973,9 | 2.912,9 | 2.243,4 | 466,36  | 7.5825    | MJ |
| Qhr vs | Fabbisogno utile reale in regime non continuo               | 57,70   | 1.583,8 | 2.314,5 | 1.779,5 | 407,45  | 6.1409    | MJ |
| etaD   | Rendimento di Distribuzione                                 | 96,00   | 96,00   | 96,00   | 96,00   | 96,00   | 0,00      | %  |
| Qp     | Energia termica fornita in regime continuo                  | 603,16  | 3.239,3 | 4.217,3 | 3.405,5 | 1.668,8 | 13.134,25 | MJ |
| Qpv s  | Energia termica fornita in regime non continuo              | 642,68  | 2.832,8 | 3.594,0 | 2.922,3 | 1.607,5 | 11.599,48 | MJ |
| Q      | Fabbisogno reale di energia primaria in regime continuo     | 2.179,9 | 6.619,5 | 7.692,1 | 6.506,5 | 4.839,3 | 27.837,50 | MJ |
| Qr     | Fabbisogno reale di energia primaria in regime non continuo | 1.492,2 | 4.631,1 | 5.450,2 | 4.574,6 | 3.296,3 | 19.444,63 | MJ |
| Qpw    | Energia termica reale fornita per ACS (totale annuale)      | 1.144,9 | 1.183,0 | 1.183,0 | 1.068,5 | 1.183,0 | 13.929,90 | MJ |
| etaP   | Rendimento di Produzione                                    | 27,67   | 48,94   | 54,83   | 52,34   | 34,49   | 47,18     | %  |
| Qw     | Fabbisogno di Energia Primaria per ACS (totale annuale)     | 3.333,3 | 2.417,6 | 2.157,8 | 2.041,6 | 3.430,6 | 30.599,9  | MJ |

*Verifiche*

|       | DESCRIZIONE                                                                                                 | valore | Valore limite | U.M                | ESITO                           |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|---------------|--------------------|---------------------------------|
| EPI   | Indice prestazione energetica per climatizzazione invernale                                                 | 54,41  | 54,41         | kWh/m <sup>2</sup> | VERIFICATO<br>(All. I, comma 6) |
| etaU  | Rendimento termico utile (comma 6, All. I, D.Lgs. 311/2006)                                                 | 93,00  | 92,83         | %                  | VERIFICATO                      |
| eta30 | Rendimento a carico parziale                                                                                | 82,00  | 84,24         | %                  | VERIFICATO                      |
| etaG  | Rendimento Globale medio stagionale                                                                         | 59,42  | 69,24         | %                  | VERIFICATO                      |
| U lim | Trasmittanze strutture verticali, orizzontali ed infissi (All. C D.Lgs. 311/2006)                           | 0,00   | 0,00          |                    | VERIFICATO                      |
| U lim | Trasmittanze strutture verticali, orizzontali ed infissi (All. C e All. I, c. 1, D.Lgs. 311/2006) Ulim +30% | 0,00   | 0,00          |                    | VERIFICATO                      |
| U lim | Trasmittanze divisori (comma 7, All. I, D.Lgs. 311/2006)                                                    | 0,00   | 0,00          |                    | VERIFICATO                      |
| Ms    | Massa superficiale pareti opache (D.Lgs. 311/2006, All. I, comma 9, lettera b)                              | 0,00   | 0,00          |                    | VERIFICATA                      |
| Cond  | Verifica condense interstiziali e superficiali                                                              | 0,00   | 0,00          |                    | VERIFICATA                      |

## ZONA GIORNO

|    |                                                      |          |                    |
|----|------------------------------------------------------|----------|--------------------|
| T  | Temperatura                                          | 20,00    | °C                 |
|    | Temperatura a generatore spento                      | 15,00    | °C                 |
|    | Adduttanza interna componenti finestrati             | 7,70     | W/m <sup>2</sup> k |
|    | Adduttanza interna strutture opache                  | 7,70     | W/m <sup>2</sup> k |
|    | Adduttanza interna discendente                       | 5,90     | W/m <sup>2</sup> k |
|    | Adduttanza interna ascendente                        | 10,00    | W/m <sup>2</sup> k |
|    | Umidità Relativa massima sulla superficie interna    | 80,00    | %                  |
|    | Superficie lorda                                     | 63,82    | m <sup>2</sup>     |
|    | Apporti interni                                      | 450,00   | W                  |
|    | Ricambi d'aria minimi                                | 0,50     | m <sup>3</sup> /h  |
|    | Ricambi d'aria naturali                              | 0,60     | m <sup>3</sup> /h  |
|    | Coefficiente di dispersione termica per ventilazione | 3,60     | W                  |
| Qt | Dispersione per trasmissione                         | 1.703,68 | W                  |
| Qu | Dispersione per ventilazione                         | 555,94   | W                  |
| Qg | Dispersione per scambi termici con il terreno        | 0,00     | W                  |
| Q  | Dispersione TOTALE                                   | 2.259,62 | W                  |

| Vano      | S     | V      | Qt       | Qu     | Qg   | Q        |
|-----------|-------|--------|----------|--------|------|----------|
| SOGGIORNO | 36,15 | 104,84 | 1.192,42 | 377,42 | 0,00 | 1.569,84 |
| CUCINA    | 9,10  | 26,39  | 305,94   | 95,00  | 0,00 | 400,94   |
| BAGNO     | 8,00  | 23,20  | 205,32   | 83,52  | 0,00 | 288,84   |

### 7.2.1 Calcolo di dispersioni, rendimenti, fabbisogni ed indice di prestazione energetica per climatizzazione invernale (EPI)

|      | Descrizione                                         | novembre | dicembre | gennaio  | febbraio | marzo    | totale   | u.m  |
|------|-----------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------|
| QL   | Dispersione per trasmissione e ventilazione         | 1.464,23 | 2.656,23 | 3.194,20 | 2.854,71 | 2.286,37 | 12.455,7 | MJ   |
| Qv   | Dispersione per ventilazione                        | 360,25   | 653,52   | 785,88   | 702,35   | 562,52   | 3.064,52 | MJ   |
| Qse  | Apporti solari esterni                              | 77,76    | 65,41    | 74,34    | 76,94    | 93,06    | 387,51   | MJ   |
| Qsi  | Apporti solari interni                              | 654,48   | 525,92   | 604,59   | 716,18   | 1.021,98 | 3.523,15 | MJ   |
| Qi   | Apporti interni                                     | 1.166,40 | 1.205,28 | 1.205,28 | 1.088,64 | 1.205,28 | 5.870,88 | MJ   |
| Vw   | Volume giornaliero di ACS richiesto                 | 190,98   | 190,98   | 190,98   | 190,98   | 190,98   | 0,00     | l/gg |
| Qhw  | Fabbisogno utile ideale per ACS                     | 539,63   | 557,61   | 557,61   | 503,65   | 557,61   | 0,00     | MJ   |
| Qrhw | Energia per ACS persa e recuperata in riscaldamento | 22,72    | 44,02    | 44,02    | 39,76    | 44,02    | 0,00     | MJ   |



|       |                                                         |          |          |          |          |          |               |    |
|-------|---------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------|----|
| Qh    | Fabbisogno<br>utile ideale in<br>regime<br>continuo     | -4,89    | 822,28   | 1.267,81 | 938,66   | 124,62   | 3.148,48      | MJ |
| Qhvs  | Fabbisogno<br>utile ideale in<br>regime non<br>continuo | 27,72    | 659,67   | 1.005,14 | 742,18   | 116,28   | 2.550,99      | MJ |
| etaE  | Rendimento di<br>Emissione                              | 96,00    | 96,00    | 96,00    | 96,00    | 96,00    | 0,00          | %  |
| etaC  | Rendimento di<br>Regolazione                            | 97,00    | 97,00    | 97,00    | 97,00    | 97,00    | 0,00          | %  |
| Qhr   | Fabbisogno<br>utile reale in<br>regime<br>continuo      | -5,25    | 883,03   | 1.361,48 | 1.008,01 | 133,82   | 3.381,09      | MJ |
| Qhrvs | Fabbisogno<br>utile reale in<br>regime non<br>continuo  | 29,77    | 708,41   | 1.079,40 | 797,02   | 124,88   | 2.739,48      | MJ |
| etaD  | Rendimento di<br>Distribuzione                          | 96,00    | 96,00    | 96,00    | 96,00    | 96,00    | 0,00          | %  |
| Qp    | Energ. Termi.<br>fornita in reg.<br>continuo            | 345,48   | 1.594,83 | 2.093,21 | 1.659,69 | 814,41   | 6.507,62      | MJ |
| Qpvs  | Energia<br>termica fornita<br>in regime non<br>continuo | 364,93   | 1.412,94 | 1.799,38 | 1.439,91 | 805,09   | 5.822,25      | MJ |
| Q     | Fabbisogno<br>reale di energia                          | 1.146,13 | 3.282,33 | 3.829,20 | 3.206,07 | 2.395,98 | 13.859,7<br>1 | MJ |

|      |                                                                         |        |          |          |          |          |          |    |
|------|-------------------------------------------------------------------------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----|
|      | primaria in<br>regime<br>continuo                                       |        |          |          |          |          |          |    |
| Qr   | Fabbisogno<br>reale di energia<br>primaria in<br>regime non<br>continuo | 795,26 | 2.311,77 | 2.727,66 | 2.264,48 | 1.649,64 | 9.748,81 | MJ |
| Qpw  | Energia<br>termica reale<br>fornita per<br>ACS                          | 653,23 | 675,01   | 675,01   | 609,68   | 675,01   | 7.947,67 | MJ |
| etaP | Rendimento di<br>Produzione                                             | 30,14  | 48,59    | 54,66    | 51,77    | 33,99    | 0,00     | %  |

## LEGENDA

|              |                                                                                         |                    |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| S            | Superficie netta calpestabile                                                           | m <sup>2</sup>     |
| V            | Volume netto                                                                            | m <sup>3</sup>     |
| T            | Temperatura interna                                                                     | m <sup>3</sup>     |
| A            | Superficie disperdente                                                                  | m <sup>2</sup>     |
| L            | Lunghezza del Ponte Termico                                                             | m                  |
| Confine      | Nome dell'ambiente confinante                                                           |                    |
| Orientamento | Orientamento della superficie                                                           |                    |
| CE           | Coefficiente di esposizione                                                             |                    |
| FS           | Fattore di ombreggiatura dovuto ad ostruzioni esterne                                   |                    |
| a            | Coefficiente di assorbimento della radiazione solare                                    |                    |
| FC           | Coefficiente di riduzione relativo alla presenza di schermi (solo superfici finestrate) |                    |
| FF           | Coefficiente di riduzione dovuto al telaio (Rapporto fra area vetro/telaio)             |                    |
| g            | Trasmittanza di energia solare totale (comprensiva di fattore correttivo Fw)            |                    |
| U            | Trasmittanza convenzionale                                                              | W/m <sup>2</sup> k |
| UI           | Trasmittanza lineare del Ponte Termico                                                  | W/mk               |
| Δ T          | Differenza di temperatura                                                               | °C                 |
| Qu           | Dispersione unitaria del componente edilizio                                            | W/m <sup>2</sup>   |
| Q            | Dispersione totale del componente edilizio                                              | W                  |
| g            | Trasmittanza di energia solare totale (comprensiva di fattore correttivo Fw)            |                    |
| U            | Trasmittanza convenzionale                                                              | W/m <sup>2</sup> k |

## SOGGIORNO

ZONA: GIORNO

SUPERFICIE NETTA CALPESTABILE: 36,15 m<sup>2</sup>VOLUME NETTO: 104,84 m<sup>3</sup>

TEMPERATURA INTERNA: 20,00°C

DISPERSIONE MASSIMA per trasmissione: 1192,42 W

DISPERSIONE MASSIMA per ventilazione: 377,42 W

DISPERSIONE TOTALE: 1569,84 W

| struttura         | A o L | confine<br>o<br>orientamento | CE   | FS   | a    | FC   | FF   | g    | U o<br>UI | ΔT    | Qu   | Q     |
|-------------------|-------|------------------------------|------|------|------|------|------|------|-----------|-------|------|-------|
| Solaio            | 36,15 |                              | 0,00 | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,426     | 20,00 | 7,92 | 286,3 |
| Solaio            | 36,15 |                              | 1,00 | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,426     | 18,00 | 7,67 | 277,2 |
| Parete            | 8,12  | Nord                         | 1,18 | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,444     | 18,00 | 7,99 | 64,8  |
| Parete            | 18,85 |                              | 0,00 | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,444     | 20,00 | 7,99 | 150,6 |
| Parete            | 3,43  | Ovest                        | 1,08 | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,444     | 18,00 | 7,99 | 27,4  |
| Comp.<br>Finestr. | 1,68  | Ovest                        | 1,08 | 1,00 |      | 0,00 | 0,59 | 0,52 | 1,913     | 18,00 | 28,4 | 47,8  |
| Parete            | 0,00  | Ovest                        | 1,08 | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,444     | 18,00 | 7,99 | 0,00  |
| Comp.fi<br>nestr. | 1,68  | Ovest                        | 1,08 | 1,00 |      | 0,00 | 0,65 | 0,52 | 1,923     | 18,00 | 28,5 | 48,0  |
| Parete            | 0,00  | Est                          | 1,13 | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,444     | 18,00 | 7,99 | 0,00  |
| Comp.<br>Finestr. | 1,68  | Est                          | 1,13 | 1,00 |      | 0,00 | 0,65 | 0,52 | 1,923     | 18,00 | 28,5 | 48,0  |
| Parete            | 24,42 | Sud                          | 1,00 | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,444     | 18,00 | 7,99 | 195,1 |
| Comp.<br>finestr. | 1,68  | Sud                          | 1,00 | 1,00 |      | 0,00 | 0,52 | 0,52 | 1,876     | 18,00 | 27,9 | 47,0  |

## CUCINA

ZONA: GIORNO

SUPERFICIE NETTA CALPESTABILE: 9,10 m<sup>2</sup>VOLUME NETTO: 26,39 m<sup>3</sup>

TEMPERATURA INTERNA: 20,00°C

DISPERSIONE MASSIMA per trasmissione: 305,94 W

DISPERSIONE MASSIMA per ventilazione: 95 W

DISPERSIONE TOTALE: 400,94 W

| struttura         | A o L | confine<br>o<br>orientamento | CE   | FS   | a    | FC  | FF   | g    | U o<br>UI | Δ T  | Qu        | Q    |
|-------------------|-------|------------------------------|------|------|------|-----|------|------|-----------|------|-----------|------|
| Solaio            | 9,10  |                              | 1,00 | 1,00 | 0,30 |     |      |      | 0,426     | 18,0 | 7,92      | 72,0 |
| Solaio            | 9,10  |                              | 1,00 | 1,00 | 0,30 |     |      |      | 0,426     | 18,0 | 7,67      | 69,8 |
| Parete            | 4,30  | Est                          | 1,13 | 1,00 | 0,30 |     |      |      | 0,444     | 18,0 | 7,99      | 34,3 |
| Comp.<br>Finestr. | 1,68  | Est                          | 1,13 | 1,00 |      | 0,0 | 0,65 | 0,52 | 1,923     | 18,0 | 28,5<br>7 | 48,0 |
| Parete            | 10,15 | Sud                          | 1,00 | 1,00 | 0,30 |     |      |      | 0,447     | 18,0 | 8,05      | 81,7 |

## BAGNO

ZONA: GIORNO

SUPERFICIE NETTA CALPESTABILE: 8,00 m<sup>2</sup>VOLUME NETTO: 23,20 m<sup>3</sup>

TEMPERATURA INTERNA: 20,00°C

DISPERSIONE MASSIMA per trasmissione: 205,32 W

DISPERSIONE MASSIMA per ventilazione: 83,52 W

DISPERSIONE TOTALE: 288,84 W

| struttura         | A o<br>L | confine<br>o<br>orientamento | CE   | FS   | a    | FC   | FF   | g    | U o<br>UI | $\Delta T$ | Qu   | Q    |
|-------------------|----------|------------------------------|------|------|------|------|------|------|-----------|------------|------|------|
| Solaio            | 8,00     |                              | 1,00 | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,42<br>6 | 18,0       | 7,92 | 63,3 |
| Solaio            | 8,00     |                              | 1,00 | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,42<br>6 | 18,0       | 7,67 | 61,3 |
| Parete            | 4,08     | Est                          | 1,13 | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,44<br>4 | 18,0       | 7,99 | 32,6 |
| Comp.<br>finestr. | 1,68     | Est                          | 1,13 | 1,00 |      | 0,00 | 0,65 | 0,52 | 1,92<br>3 | 18,0       | 28,5 | 48,0 |

## ZONA NOTTE

|    |                                                      |             |
|----|------------------------------------------------------|-------------|
| T  | Temperatura                                          | 20,00 °C    |
|    | Temperatura a generatore spento                      | 15,00 °C    |
|    | Adduttanza interna componenti finestrati             | 7,70 W/m²k  |
|    | Adduttanza interna strutture opache                  | 7,70 W/m²k  |
|    | Adduttanza interna discendente                       | 5,90 W/m²k  |
|    | Adduttanza interna ascendente                        | 10,00 W/m²k |
|    | Umidità Relativa massima sulla superficie interna    | 80,00 %     |
|    | Superficie lorda                                     | 63,89 m²    |
|    | Apporti interni                                      | 317,67 W    |
|    | Ricambi d'aria minimi                                | 0,50 m³/h   |
|    | Ricambi d'aria naturali                              | 0,60 m³/h   |
|    | Coefficiente di dispersione termica per ventilazione | 3,60 W      |
| Qt | Dispersione per trasmissione                         | 1.640,99 W  |
| Qu | Dispersione per ventilazione                         | 562,50 W    |
| Qg | Dispersione per scambi termici con il terreno        | 0,00 W      |
| Q  | Dispersione TOTALE                                   | 2.203,49 W  |

| DESCRIZIONE DEL VANO | S     | V     | Qt     | Qu     | Qg   | Q      |
|----------------------|-------|-------|--------|--------|------|--------|
| CAMERA LM            | 15,00 | 43,50 | 438,28 | 156,60 | 0,00 | 594,88 |
| CAMERA L2            | 14,25 | 41,33 | 332,59 | 148,79 | 0,00 | 481,38 |
| CAMERA L1            | 13,57 | 39,35 | 409,05 | 141,66 | 0,00 | 550,71 |
| BAGNO                | 6,30  | 18,27 | 248,33 | 65,77  | 0,00 | 314,10 |
| RIPOSTIGLIO          | 4,76  | 13,80 | 212,74 | 49,68  | 0,00 | 262,42 |

|     | descrizione                                 | novembre | dicembre | gennaio  | febbraio | marzo    | totale    | u. m. |
|-----|---------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-------|
| QL  | Dispersione per trasmissione e ventilazione | 1.427,86 | 2.590,25 | 3.114,85 | 2.783,80 | 2.229,58 | 12.146,34 | MJ    |
| Qv  | Dispersione per ventilazione                | 364,50   | 661,23   | 795,15   | 710,64   | 569,16   | 3.100,68  | MJ    |
| Qs  | Apporti solari e esterni                    | 80,19    | 66,56    | 75,95    | 82,43    | 106,45   | 411,58    | MJ    |
| Qs  | Apporti solari interni                      | 747,99   | 623,84   | 710,24   | 752,47   | 939,21   | 3.773,75  | MJ    |
| Qi  | Apporti interni                             | 823,40   | 850,85   | 850,85   | 768,51   | 850,85   | 4.144,46  | MJ    |
| Vw  | Volume giornaliero di ACS richiesto         | 143,75   | 143,75   | 143,75   | 143,75   | 143,75   | 0,00      | l/g g |
| Qhw | Fabbisogno utile ideale per ACS             | 406,18   | 419,72   | 419,72   | 379,10   | 419,72   | 0,00      | MJ    |
| Qr  | Energia per ACS persa e                     | 17,10    | 33,14    | 33,14    | 29,93    | 33,14    | 0,00      | MJ    |

|        |                                                |        |          |          |          |        |          |    |
|--------|------------------------------------------------|--------|----------|----------|----------|--------|----------|----|
|        | recuperata in riscaldamento                    |        |          |          |          |        |          |    |
| Qh     | Fabbisogno utile ideale in regime continuo     | -7,64  | 1.015,87 | 1.444,68 | 1.150,47 | 309,66 | 3.913,04 | MJ |
| Qh vs  | Fabbisogno utile ideale in regime non continuo | 26,01  | 815,17   | 1.150,17 | 914,96   | 263,13 | 3.169,44 | MJ |
| eta E  | Rendimento di Emissione                        | 96,00  | 96,00    | 96,00    | 96,00    | 96,00  | 0,00     | %  |
| eta C  | Rendimento di Regolazione                      | 97,00  | 97,00    | 97,00    | 97,00    | 97,00  | 0,00     | %  |
| Qh r   | Fabbisogno utile reale in regime continuo      | -8,20  | 1.090,93 | 1.551,42 | 1.235,47 | 332,54 | 4.202,16 | MJ |
| Qh rvs | Fabbisogno utile reale in regime non continuo  | 27,93  | 875,40   | 1.235,14 | 982,57   | 282,57 | 3.403,61 | MJ |
| eta D  | Rendimento di Distribuzione                    | 96,00  | 96,00    | 96,00    | 96,00    | 96,00  | 0,00     | %  |
| Qp     | Energia termica fornita in regime continuo     | 257,68 | 1.644,47 | 2.124,14 | 1.745,86 | 854,48 | 6.626,63 | MJ |
| Qp vs  | Energia termica fornita in regime non          | 277,75 | 1.419,95 | 1.794,69 | 1.482,42 | 802,42 | 5.777,23 | MJ |



|          |                                                                            |          |          |          |          |          |           |    |
|----------|----------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----|
|          | continuo                                                                   |          |          |          |          |          |           |    |
| Q        | Fabbisogno<br>reale di<br>energia<br>primaria in<br>regime<br>continuo     | 1.033,82 | 3.337,17 | 3.862,91 | 3.300,48 | 2.443,41 | 13.977,79 | MJ |
| Qr       | Fabbisogno<br>reale di<br>energia<br>primaria in<br>regime non<br>continuo | 696,94   | 2.319,34 | 2.722,63 | 2.310,21 | 1.646,70 | 9.695,82  | MJ |
| Qp<br>w  | Energia<br>termica reale<br>fornita per<br>ACS                             | 491,69   | 508,08   | 508,08   | 458,91   | 508,08   | 5.982,23  | MJ |
| eta<br>P | Rendimento di<br>Produzione                                                | 24,92    | 49,28    | 54,99    | 52,90    | 34,97    | 0,00      | %  |

## CAMERA LM

ZONA: NOTTE

SUPERFICIE NETTA CALPESTABILE: 15,00 m<sup>2</sup>VOLUME NETTO: 43,50m<sup>3</sup>

TEMPERATURA INTERNA: 20,00°C

DISPERSIONE MASSIMA per trasmissione: 438,28 W

DISPERSIONE MASSIMA per ventilazione: 156,60W

DISPERSIONE TOTALE: 594,88W

| struttura         | A o L | confine<br>o<br>orientam<br>ento | CE   | FS   | a    | FC   | FF   | g    | U o<br>UI | $\Delta T$ | Qu   | Q     |
|-------------------|-------|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|-----------|------------|------|-------|
| Solaio            | 15,00 |                                  | 1,0  | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,42      | 18,0       | 7,92 | 118,8 |
| Solaio            | 15,00 |                                  | 1,0  | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,42      | 18,0       | 7,67 | 115,0 |
| Parete            | 9,72  | Ovest                            | 1,08 | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,44      | 18,0       | 7,99 | 77,6  |
| Parete            | 9,81  | Sud                              | 1,0  | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,44      | 18,0       | 8,05 | 78,9  |
| Comp.<br>Finestr. | 1,68  | Sud                              | 1,0  | 1,00 |      | 0,00 | 0,59 | 0,52 | 1,91      | 18,0       | 28,4 | 47,8  |

## CAMERA L2

ZONA: NOTTE

SUPERFICIE NETTA CALPESTABILE: 14,25 m<sup>2</sup>VOLUME NETTO: 41,33m<sup>3</sup>

TEMPERATURA INTERNA: 20,00°C

DISPERSIONE MASSIMA per trasmissione: 322,59 W

DISPERSIONE MASSIMA per ventilazione: 148,79W

DISPERSIONE TOTALE: 481,38W

| struttura        | A o L | confine<br>o<br>orientamen<br>to | CE   | FS   | a    | FC   | FF   | g    | U o<br>UI | $\Delta T$ | Qu   | Q     |
|------------------|-------|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|-----------|------------|------|-------|
| Solaio           | 14,25 |                                  | 1,00 | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,42      | 18,0       | 7,92 | 112,8 |
| Solaio           | 14,25 |                                  | 1,00 | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,42      | 18,0       | 7,67 | 109,3 |
| Parete           | 7,78  | Sud                              | 1,00 | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,44      | 18,0       | 8,05 | 62,6  |
| Comp<br>Finestr. | 1,68  | Sud                              | 1,00 | 1,00 |      | 0,00 | 0,59 | 0,52 | 1,91      | 18,0       | 28,4 | 47,8  |

## CAMERA L1

ZONA: NOTTE

SUPERFICIE NETTA CALPESTABILE: 13,57 m<sup>2</sup>VOLUME NETTO: 39,35m<sup>3</sup>

TEMPERATURA INTERNA: 20,00°C

DISPERSIONE MASSIMA per trasmissione: 409,05 W

DISPERSIONE MASSIMA per ventilazione: 141,66W

DISPERSIONE TOTALE: 550,714W

| struttura                | A o<br>L | confine<br>o<br>orientamen<br>to | C<br>E | FS   | a    | FC   | FF   | g    | U o<br>UI | Δ T  | Qu        | Q         |
|--------------------------|----------|----------------------------------|--------|------|------|------|------|------|-----------|------|-----------|-----------|
| Solaio                   | 13,5     |                                  | 1,0    | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,42<br>6 | 18,0 | 7,92      | 107,<br>4 |
| Solaio                   | 13,5     |                                  | 1,0    | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,42<br>6 | 18,0 | 7,67      | 104,<br>0 |
| Parete                   | 8,56     | Est                              | 1,1    | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,44<br>4 | 18,0 | 7,99      | 68,3      |
| Parete                   | 10,1     | Sud                              | 1,0    | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,44<br>7 | 18,0 | 8,05      | 81,3      |
| Componente<br>finestrato | 1,68     | Sud                              | 1,0    | 1,00 |      | 0,00 | 0,59 | 0,52 | 1,91<br>3 | 18,0 | 28,4<br>5 | 47,8      |

## BAGNO

ZONA: NOTTE

SUPERFICIE NETTA CALPESTABILE: 6,30 m<sup>2</sup>VOLUME NETTO: 18,20m<sup>3</sup>

TEMPERATURA INTERNA: 20,00°C

DISPERSIONE MASSIMA per trasmissione: 248,33 W

DISPERSIONE MASSIMA per ventilazione: 65,77W

DISPERSIONE TOTALE: 314,10W

| struttura                | A o<br>L | confine<br>o<br>orientam<br>ento | CE   | FS   | a    | FC   | FF   | g    | U o<br>UI | Δ T  | Qu        | Q    |
|--------------------------|----------|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|-----------|------|-----------|------|
| Solaio                   | 6,30     |                                  | 1,00 | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,42      | 18,0 | 7,92      | 49,9 |
| Solaio                   | 6,30     |                                  | 1,00 | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,42      | 18,0 | 7,67      | 48,3 |
| Parete                   | 2,63     | Est                              | 1,13 | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,44      | 18,0 | 7,99      | 21,0 |
| Componente<br>finestrato | 1,68     | Est                              | 1,13 | 1,00 |      | 0,00 | 0,65 | 0,52 | 1,92      | 18,0 | 28,5<br>7 | 48,0 |
| Parete                   | 10,1     | Nord                             | 1,18 | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,44      | 18,0 | 7,99      | 81,1 |

#### RIPOSTIGLIO

ZONA: NOTTE

SUPERFICIE NETTA CALPESTABILE: 4,76 m²

VOLUME NETTO: 13,80m³

TEMPERATURA INTERNA: 20,00°C

DISPERSIONE MASSIMA per trasmissione: 212,74 W

DISPERSIONE MASSIMA per ventilazione: 49,68W

DISPERSIONE TOTALE: 262,42W

| struttura                | A o<br>L | confine<br>o<br>orientam<br>ento | CE   | FS   | a    | FC   | FF   | g    | U o<br>UI | $\Delta T$ | Qu   | Q    |
|--------------------------|----------|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|-----------|------------|------|------|
| Solaio                   | 4,76     |                                  | 1,00 | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,42      | 18,0       | 7,92 | 37,7 |
| Solaio                   | 4,76     |                                  | 1,00 | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,42      | 18,0       | 7,67 | 36,5 |
| Parete                   | 9,86     | Nord                             | 1,18 | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,44      | 18,0       | 7,99 | 78,7 |
| Parete                   | 1,47     | Ovest                            | 1,08 | 1,00 | 0,30 |      |      |      | 0,44      | 18,0       | 7,99 | 11,7 |
| Componente<br>finestrato | 1,68     | Ovest                            | 1,08 | 1,00 |      | 0,00 | 0,65 | 0,52 | 1,92      | 18,0       | 28,5 | 48,0 |

### 7.2.2 Verifica trasmittanza limite

| Trasmittanza media pareti composte (All. C D.Lgs. 311/2006) |                |           |                           |          |       |                   |
|-------------------------------------------------------------|----------------|-----------|---------------------------|----------|-------|-------------------|
| ELEMENTO                                                    | ZONA           | VANO      | ORIENTAMENTO /<br>CONFINE | U<br>MED | U LIM |                   |
| Parete                                                      | ZONA<br>GIORNO | BAGNO     | Est                       | 0,444    | 0,460 | <b>Verificata</b> |
| Parete                                                      | ZONA<br>GIORNO | CUCINA    | Est                       | 0,444    | 0,460 | <b>Verificata</b> |
| Parete                                                      | ZONA<br>GIORNO | CUCINA    | Sud                       | 0,447    | 0,460 | <b>Verificata</b> |
| Parete                                                      | ZONA<br>GIORNO | SOGGIORNO | Nord                      | 0,444    | 0,460 | <b>Verificata</b> |
| Parete                                                      | ZONA<br>GIORNO | SOGGIORNO | Ovest                     | 0,444    | 0,460 | <b>Verificata</b> |
| Parete                                                      | ZONA<br>GIORNO | SOGGIORNO | Sud                       | 0,444    | 0,460 | <b>Verificata</b> |
| Parete                                                      | ZONA<br>NOTTE  | BAGNO     | Est                       | 0,444    | 0,460 | <b>Verificata</b> |
| Parete                                                      | ZONA<br>NOTTE  | BAGNO     | Nord                      | 0,444    | 0,460 | <b>Verificata</b> |
| Parete                                                      | ZONA<br>NOTTE  | CAMERA LI | Est                       | 0,444    | 0,460 | <b>Verificata</b> |

|        |            |             |       |       |       |                   |
|--------|------------|-------------|-------|-------|-------|-------------------|
| Parete | ZONA NOTTE | CAMERA L1   | Sud   | 0,447 | 0,460 | <b>Verificata</b> |
| Parete | ZONA NOTTE | CAMERA L2   | Sud   | 0,447 | 0,460 | <b>Verificata</b> |
| Parete | ZONA NOTTE | CAMERA LM   | Ovest | 0,444 | 0,460 | <b>Verificata</b> |
| Parete | ZONA NOTTE | CAMERA LM   | Sud   | 0,447 | 0,460 | <b>Verificata</b> |
| Parete | ZONA NOTTE | RIPOSTIGLIO | Nord  | 0,444 | 0,460 | <b>Verificata</b> |
| Parete | ZONA NOTTE | RIPOSTIGLIO | Ovest | 0,444 | 0,460 | <b>Verificata</b> |

| DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA                        | U     | U LIM |            | U VETRO | U LIM VETRO |                   |
|----------------------------------------------------|-------|-------|------------|---------|-------------|-------------------|
| Finestra in legno ad un'anta (doppio telaio)       | 1,923 | 3,000 | Verificata | 2,050   | 2,300       | <b>Verificata</b> |
| Finestra in legno a due ante (doppio telaio)       | 1,913 | 3,000 | Verificata | 2,050   | 2,300       | <b>Verificata</b> |
| Porta-finestra in legno a due ante (doppio telaio) | 1,876 | 3,000 | Verificata | 2,050   | 2,300       | <b>Verificata</b> |

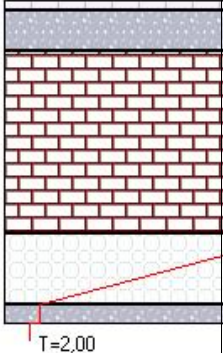
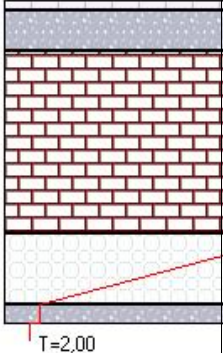
| DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA                        | U     | U LIM (+30%) |            | U VETRO | U LIM VETRO |                   |
|----------------------------------------------------|-------|--------------|------------|---------|-------------|-------------------|
| Finestra in legno ad un'anta (doppio telaio)       | 1,923 | 3,900        | Verificata | 2,050   | 2,990       | <b>Verificata</b> |
| Finestra in legno a due ante (doppio telaio)       | 1,913 | 3,900        | Verificata | 2,050   | 2,990       | <b>Verificata</b> |
| Porta-finestra in legno a due ante (doppio telaio) | 1,876 | 3,900        | Verificata | 2,050   | 2,990       | <b>Verificata</b> |

|                                                              |       |       |                   |  |  |  |
|--------------------------------------------------------------|-------|-------|-------------------|--|--|--|
| Solaio di calpestio isolato all'intradosso                   | 0,426 | 0,546 | <b>Verificata</b> |  |  |  |
| Muratura in mattoni pieni a due teste con strato di isolante | 0,444 | 0,598 | <b>Verificata</b> |  |  |  |
| Muratura faccia a vista in mattoni pieni a due teste         | 0,447 | 0,598 | <b>Verificata</b> |  |  |  |

| DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA                                  | U     | U LIM |                   |
|--------------------------------------------------------------|-------|-------|-------------------|
| Solaio di calpestio isolato all'intradosso                   | 0,426 | 0,800 | <b>Verificata</b> |
| Muratura in mattoni pieni a due teste con strato di isolante | 0,444 | 0,800 | <b>Verificata</b> |

## SOLAIO DI CALPESTIO ISOLATO ALL'INTRADOSSO

*Caratteristiche termiche della struttura*

| DESCRIZIONE ESTESA DELLA STRUTTURA         |            |                       |        |                        | STRATIGRAFIA DELLA STRUTTURA                                                       |
|--------------------------------------------|------------|-----------------------|--------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Solaio di calpestio isolato all'intradosso |            |                       |        |                        |  |
|                                            |            |                       |        |                        |                                                                                    |
|                                            |            |                       |        |                        |                                                                                    |
|                                            |            |                       |        |                        |                                                                                    |
|                                            |            |                       |        |                        |                                                                                    |
| s                                          | $\Delta s$ | SPESSORE              | 320    | mm                     |  |
| Rt                                         | $\Delta R$ | RESISTENZA            | 2,345  | m <sup>2</sup> K/<br>W |                                                                                    |
| M.S.                                       |            | MASSA<br>SUPERFICIALE | 252,40 | kg/m <sup>2</sup>      |                                                                                    |
| U                                          | 1/Rt       | TRASMITTANZA          | 0,426  | W/m <sup>2</sup><br>K  |                                                                                    |

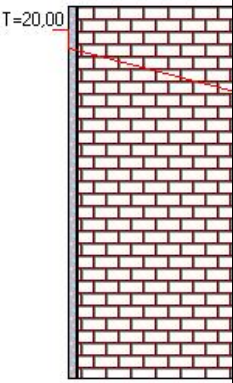


|   | DESCRIZIONE<br>DELLO STRATO                                                              | s<br>[mm] | $\lambda$<br>[W/mK] | C<br>[W/m <sup>2</sup> K] | Q<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | $\delta u \cdot 10^{12}$<br>[kg/msPa] | R<br>[m <sup>2</sup> K/W] |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| 1 | Adduttanza superiore                                                                     |           |                     | 5,90                      |                           |                                       | 0,1695                    |
| 2 | Piastrelle                                                                               | 10        | 1,0000              | 100,0000                  | 2.300,0<br>0              | 0,9400                                | 0,0100                    |
| 3 | Malta di cemento                                                                         | 40        | 1,4000              | 35,0000                   | 2.000,0<br>0              | 8,5000                                | 0,0286                    |
| 4 | Blocco da solaio con<br>elementi collaboranti<br>interposti, spessore 180<br>mm          | 180       |                     | 3,3333                    | 1.800,0<br>0              | 19,00                                 | 0,3000                    |
| 5 | Polistirene espanso in<br>lastre stampate per<br>termocompressione, massa<br>volumica 20 | 70        | 0,0396              | 0,5657                    | 20,00                     | 4,1700                                | 1,7677                    |
| 6 | Intonaco di calce e gesso                                                                | 20        | 0,7000              | 35,0000                   | 1.400,0<br>0              | 18,0000                               | 0,0286                    |
| 7 | Adduttanza inferiore                                                                     |           |                     | 25,00                     |                           |                                       | 0,0400                    |
|   | TOTALI                                                                                   | 320       |                     |                           |                           |                                       | 2,3444                    |

| LEGENDA                  |                                                      |           |                                       |
|--------------------------|------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------------|
| s                        | Spessore dello strato                                | $\lambda$ | Conduttività termica del materiale    |
| C                        | Conduttanza unitaria                                 | $\rho$    | Massa Volumica                        |
| $\delta u \cdot 10^{12}$ | Permeabilità al vapore con umidità<br>relativa < 50% | R         | Resistenza termica dei singoli strati |
| Rt                       | Resistenza della struttura                           | U         | Trasmittanza della struttura          |

MURATURA IN MATTONI PIENI A DUE TESTE CON STRATO DI POLISTIRENE  
DA CM 5 E CONTROPARETE IN MATTONI FORATI

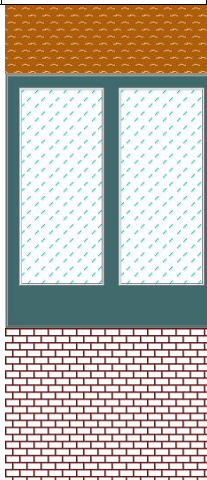
*Caratteristiche termiche della struttura*

| DESCRIZIONE ESTESA DELLA STRUTTURA                                                                       |            |                       |        |                        | STRATIGRAFIA<br>DELLA<br>STRUTTURA                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------|--------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Muratura in mattoni pieni a due teste con strato di polistirene da cm 5 e controparete in mattoni forati |            |                       |        |                        |  |
| s                                                                                                        | $\Delta s$ | SPESSORE              | 420    | mm                     |                                                                                     |
| Rt                                                                                                       | $\Delta R$ | RESISTENZA            | 2,253  | m <sup>2</sup> K/<br>W |                                                                                     |
| M.S.                                                                                                     |            | MASSA<br>SUPERFICIALE | 540,75 | kg/m <sup>2</sup>      |                                                                                     |
| U                                                                                                        | 1/Rt       | TRASMITTANZA          | 0,444  | W/m <sup>2</sup><br>K  |                                                                                     |

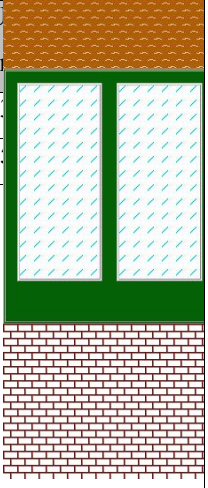
|   | DESCRIZIONE<br>DELLO STRATO                                                      | s<br>[m<br>m] | $\lambda$<br>[W/mK] | C<br>[W/m <sup>2</sup> K<br>] | Q<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | $\delta u \cdot 10^{12}$<br>[kg/msP<br>a] | R<br>[m <sup>2</sup> K/W<br>] |
|---|----------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------|
| 1 | Adduttanza interna                                                               |               |                     | 7,70                          |                           |                                           | 0,1299                        |
| 2 | Malta di calce o di calce e cemento                                              | 15            | 0,9000              | 60,0000                       | 1.800,0                   | 8,5000                                    | 0,0167                        |
| 3 | Mattone pieno di laterizio, spessore 250 mm, 120x250x50                          | 250           |                     | 3,1250                        | 1.800,0                   | 20,57                                     | 0,3200                        |
| 4 | Malta di calce o di calce e cemento                                              | 15            | 0,9000              | 60,0000                       | 1.800,0                   | 8,5000                                    | 0,0167                        |
| 5 | Polistirene espanso estruso con pelle, massa volumica 35                         | 50            | 0,0330              | 0,6600                        | 35,00                     | 0,9400                                    | 1,5152                        |
| 6 | Mattone forato di laterizio, spessore 80 mm, 80x250x250, foratura 63%, con malta | 80            |                     | 5,0000                        | 1.800,0                   | 20,57                                     | 0,2000                        |
| 7 | Intonaco di calce e gesso                                                        | 10            | 0,7000              | 70,0000                       | 1.400,0                   | 18,0000                                   | 0,0143                        |
| 8 | Adduttanza esterna                                                               |               |                     | 25,00                         |                           |                                           | 0,0400                        |
|   | TOTALI                                                                           | 420           |                     |                               |                           |                                           | 2,2526                        |

| LEGENDA                  |                                                   |          |                                       |
|--------------------------|---------------------------------------------------|----------|---------------------------------------|
| s                        | Spessore dello strato                             | $\Delta$ | Conduttività termica del materiale    |
| C                        | Conduttanza unitaria                              | $\Delta$ | Massa Volumica                        |
| $\Delta u \cdot 10^{12}$ | Permeabilità al vapore con umidità relativa < 50% | R        | Resistenza termica dei singoli strati |
| Rt                       | Resistenza della struttura                        | U        | Trasmittanza della struttura          |

FINESTRA IN LEGNO A DUE ANTE (DOPPIO TELAIO)  
*Caratteristiche dell'infisso*

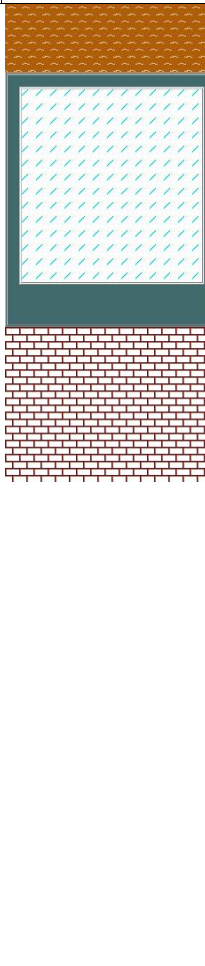
| DESCRIZIONE ESTESA DELL'INFISSO                                                                                                                                                                                                                                 |                           |       |       | INFISSO |                           |       |       |    |                     |       |       |    |                           |       |       |                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------|-------|---------|---------------------------|-------|-------|----|---------------------|-------|-------|----|---------------------------|-------|-------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Finestra in legno a due ante (doppio telaio)                                                                                                                                                                                                                    |                           |       |       |         |                           |       |       |    |                     |       |       |    |                           |       |       |                                                                                    |
| <table><tr><td>Rt</td><td>RESISTENZA TERMICA TOTALE</td><td>0,523</td><td>m²K/W</td></tr><tr><td>Uw</td><td>TRASMITTANZA TOTALE</td><td>1,913</td><td>W/m²K</td></tr><tr><td>Ug</td><td>TRASMITTANZA VETRO TOTALE</td><td>2,050</td><td>W/m²K</td></tr></table> |                           |       |       | Rt      | RESISTENZA TERMICA TOTALE | 0,523 | m²K/W | Uw | TRASMITTANZA TOTALE | 1,913 | W/m²K | Ug | TRASMITTANZA VETRO TOTALE | 2,050 | W/m²K |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                 |                           |       |       | Rt      | RESISTENZA TERMICA TOTALE | 0,523 | m²K/W |    |                     |       |       |    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                 |                           |       |       | Uw      | TRASMITTANZA TOTALE       | 1,913 | W/m²K |    |                     |       |       |    |                           |       |       |                                                                                    |
| Ug                                                                                                                                                                                                                                                              | TRASMITTANZA VETRO TOTALE | 2,050 | W/m²K |         |                           |       |       |    |                     |       |       |    |                           |       |       |                                                                                    |
| ESTERNO                                                                                                                                                                                                                                                         |                           |       |       |         |                           |       |       |    |                     |       |       |    |                           |       |       |                                                                                    |

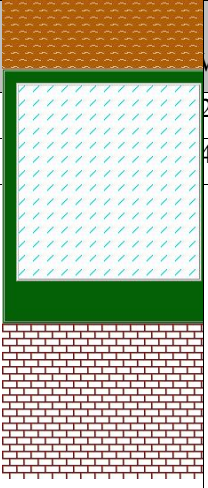
| DESCRIZIONE | Ag<br>[m <sup>2</sup> ] | Af<br>[m <sup>2</sup> ] | Lg<br>[m] | Ug<br>[W/m <sup>2</sup> K] | Uf<br>[W/m <sup>2</sup> K] | kl<br>[W/mK] | U<br>[W/m <sup>2</sup> K] |
|-------------|-------------------------|-------------------------|-----------|----------------------------|----------------------------|--------------|---------------------------|
| INTERNO     | 0,990                   | 0,690                   | 6,200     | 3,280                      | 2,530                      | 0,040        |                           |
| ESTERNO     | 0,990                   | 0,690                   | 6,200     | 5,751                      | 4,000                      | 0,000        |                           |



| LEGENDA |                                       |    |                                         |
|---------|---------------------------------------|----|-----------------------------------------|
| Ag      | Area del vetro                        | Uf | Trasmittanza termica telaio             |
| Af      | Area del telaio                       | kl | Trasmittanza lineica                    |
| Lg      | Lunghezza telaio                      | Uw | Trasmittanza totale infisso             |
| Ug      | Trasmittanza termica elemento vetrato | g  | Coeff. di trasmittanza solare del vetro |


FINESTRA IN LEGNO AD UN'ANTA (DOPPIO TELAIO)  
*Caratteristiche dell'infisso*

| DESCRIZIONE ESTESA DELL'INFISSO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |       |      |  | INFISSO |                           |       |       |    |                     |       |       |    |                           |       |       |            |   |   |                    |      |      |                    |       |      |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------|--|---------|---------------------------|-------|-------|----|---------------------|-------|-------|----|---------------------------|-------|-------|------------|---|---|--------------------|------|------|--------------------|-------|------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Finestra in legno ad un'anta (doppio telaio)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |       |      |  |         |                           |       |       |    |                     |       |       |    |                           |       |       |            |   |   |                    |      |      |                    |       |      |                                                                                     |
| <table><tr><td>Rt</td><td>RESISTENZA TERMICA TOTALE</td><td>0,520</td><td>m²K/W</td></tr><tr><td>Uw</td><td>TRASMITTANZA TOTALE</td><td>1,923</td><td>W/m²K</td></tr><tr><td>Ug</td><td>TRASMITTANZA VETRO TOTALE</td><td>2,050</td><td>W/m²K</td></tr></table><br><table><tr><td>ADDUTTANZE</td><td>C</td><td>R</td></tr><tr><td>SUPERFICIE INTERNA</td><td>7,70</td><td>0,13</td></tr><tr><td>SUPERFICIE ESTERNA</td><td>25,00</td><td>0,04</td></tr></table> |       |      |  | Rt      | RESISTENZA TERMICA TOTALE | 0,520 | m²K/W | Uw | TRASMITTANZA TOTALE | 1,923 | W/m²K | Ug | TRASMITTANZA VETRO TOTALE | 2,050 | W/m²K | ADDUTTANZE | C | R | SUPERFICIE INTERNA | 7,70 | 0,13 | SUPERFICIE ESTERNA | 25,00 | 0,04 |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |       |      |  | Rt      | RESISTENZA TERMICA TOTALE | 0,520 | m²K/W |    |                     |       |       |    |                           |       |       |            |   |   |                    |      |      |                    |       |      |                                                                                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |       |      |  | Uw      | TRASMITTANZA TOTALE       | 1,923 | W/m²K |    |                     |       |       |    |                           |       |       |            |   |   |                    |      |      |                    |       |      |                                                                                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |       |      |  | Ug      | TRASMITTANZA VETRO TOTALE | 2,050 | W/m²K |    |                     |       |       |    |                           |       |       |            |   |   |                    |      |      |                    |       |      |                                                                                     |
| ADDUTTANZE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | C     | R    |  |         |                           |       |       |    |                     |       |       |    |                           |       |       |            |   |   |                    |      |      |                    |       |      |                                                                                     |
| SUPERFICIE INTERNA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 7,70  | 0,13 |  |         |                           |       |       |    |                     |       |       |    |                           |       |       |            |   |   |                    |      |      |                    |       |      |                                                                                     |
| SUPERFICIE ESTERNA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 25,00 | 0,04 |  |         |                           |       |       |    |                     |       |       |    |                           |       |       |            |   |   |                    |      |      |                    |       |      |                                                                                     |
| ESTERNO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |       |      |  |         |                           |       |       |    |                     |       |       |    |                           |       |       |            |   |   |                    |      |      |                    |       |      |                                                                                     |

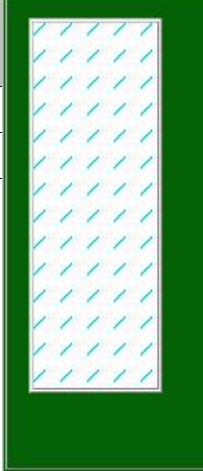
| DESCRIZIONE | Ag<br>[m <sup>2</sup> ] | Af<br>[m <sup>2</sup> ] | Lg<br>[m] |  | Uf<br>[W/m <sup>2</sup> K] |
|-------------|-------------------------|-------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| INTERNO     | 1,100                   | 0,580                   | 4,200     |                                                                                     | 2,530                      |
| ESTERNO     | 1,100                   | 0,580                   | 4,200     |                                                                                     | 4,000                      |
|             |                         |                         |           |                                                                                     |                            |

| LEGENDA |                                       |    |                                         |
|---------|---------------------------------------|----|-----------------------------------------|
| Ag      | Area del vetro                        | Uf | Trasmittanza termica telaio             |
| Af      | Area del telaio                       | kl | Trasmittanza lineica                    |
| Lg      | Lunghezza telaio                      | Uw | Trasmittanza totale infisso             |
| Ug      | Trasmittanza termica elemento vetrato | g  | Coeff. di trasmittanza solare del vetro |

PORTA-FINESTRA IN LEGNO A DUE ANTE (DOPPIO TELAIO)  
*Caratteristiche dell'infisso*

| DESCRIZIONE ESTESA DELL'INFISSO                    |                           |       |       | INFISSO                                                                            |
|----------------------------------------------------|---------------------------|-------|-------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Porta-finestra in legno a due ante (doppio telaio) |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |  |
| Rt                                                 | RESISTENZA TERMICA TOTALE | 0,533 | m²K/W |                                                                                    |
| Uw                                                 | TRASMITTANZA TOTALE       | 1,876 | W/m²K |                                                                                    |
| Ug                                                 | TRASMITTANZA VETRO TOTALE | 2,050 | W/m²K |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |
|                                                    |                           |       |       |                                                                                    |

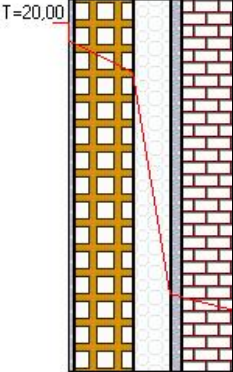


| DESCRIZIONE | Ag<br>[m <sup>2</sup> ] | Af<br>[m <sup>2</sup> ] | Lg<br>[m] |  | Uf<br>[W/m <sup>2</sup> K] | [W/m <sup>2</sup> K] |
|-------------|-------------------------|-------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------|
| INTERNO     | 0,880                   | 0,800                   | 6,000     |                                                                                     | 2,530                      |                      |
| ESTERNO     | 0,880                   | 0,800                   | 6,000     |                                                                                     | 4,000                      |                      |
|             |                         |                         |           |                                                                                     |                            |                      |

| LEGENDA |                                       |    |                                         |
|---------|---------------------------------------|----|-----------------------------------------|
| Ag      | Area del vetro                        | Uf | Trasmittanza termica telaio             |
| Af      | Area del telaio                       | kl | Trasmittanza lineica                    |
| Lg      | Lunghezza telaio                      | Uw | Trasmittanza totale infisso             |
| Ug      | Trasmittanza termica elemento vetrato | g  | Coeff. di trasmittanza solare del vetro |

MURATURA FACCIA A VISTA IN MATTONI PIENI A DUE TESTE CON STRATO  
DI POLISTIRENE DA CM 5 E CONTROPARETE IN MATTONI FORATI

*Caratteristiche termiche della struttura*

| DESCRIZIONE ESTESA DELLA STRUTTURA                                                                                      |            |                       |        |                        | STRATIGRAFIA<br>DELLA<br>STRUTTURA                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------|--------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Muratura faccia a vista in mattoni pieni a due teste con strato di polistirene da cm 5 e controparete in mattoni forati |            |                       |        |                        |  |
| s                                                                                                                       | $\Delta s$ | SPESSORE              | 405    | mm                     |                                                                                     |
| Rt                                                                                                                      | $\Delta R$ | RESISTENZA            | 2,236  | m <sup>2</sup> K/<br>W |                                                                                     |
| M.S.                                                                                                                    |            | MASSA<br>SUPERFICIALE | 540,75 | kg/m <sup>2</sup>      |                                                                                     |
| U                                                                                                                       | 1/Rt       | TRASMITTANZA          | 0,447  | W/m <sup>2</sup><br>K  |                                                                                     |

|   | DESCRIZIONE<br>DELLO STRATO                                                               | s<br>[mm] | $\lambda$<br>[W/mK] | C<br>[W/m <sup>2</sup> K] | Q<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | $\delta u \cdot 10^{12}$<br>[kg/msPa] | R<br>[m <sup>2</sup> K/W] |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| 1 | Adduttanza interna                                                                        |           |                     | 7,70                      |                           |                                       | 0,1299                    |
| 2 | Intonaco di calce e gesso                                                                 | 10        | 0,7000              | 70,0000                   | 1.400,00                  | 18,0000                               | 0,0143                    |
| 3 | Mattone forato di laterizio,<br>spessore 80 mm,<br>80x250x250, foratura<br>63%, con malta | 80        |                     | 5,0000                    | 1.800,00                  | 20,57                                 | 0,2000                    |
| 4 | Polistirene espanso estruso<br>con pelle, massa volumica<br>35                            | 50        | 0,0330              | 0,6600                    | 35,00                     | 0,9400                                | 1,5152                    |
| 5 | Malta di calce o di calce e<br>cemento                                                    | 15        | 0,9000              | 60,0000                   | 1.800,00                  | 8,5000                                | 0,0167                    |
| 6 | Mattone pieno di laterizio,<br>spessore 250 mm,<br>120x250x50                             | 250       |                     | 3,1250                    | 1.800,00                  | 20,57                                 | 0,3200                    |
| 7 | Adduttanza esterna                                                                        |           |                     | 25,00                     |                           |                                       | 0,0400                    |
|   | TOTALI                                                                                    | 405       |                     |                           |                           |                                       | 2,2360                    |

| LEGENDA                  |                                                      |           |                                       |
|--------------------------|------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------------|
| s                        | Spessore dello strato                                | $\lambda$ | Conduttività termica del materiale    |
| C                        | Conduttanza unitaria                                 | $\rho$    | Massa Volumica                        |
| $\delta u \cdot 10^{12}$ | Permeabilità al vapore con umidità<br>relativa < 50% | R         | Resistenza termica dei singoli strati |
| Rt                       | Resistenza della struttura                           | U         | Trasmittanza della struttura          |

### 7.3 Determinazione del calore ausiliario

Questi calcoli sono stati eseguiti con il metodo di Los Alamos illustrato dettagliatamente nei capitoli precedenti.

I risultati ottenuti consentono di affermare che, come previsto, non vi è alcuna necessità di impianto di riscaldamento nella cucina e nel soggiorno, mentre nelle camere da letto al primo piano è necessario un ridotto apporto termico fornito da un impianto di riscaldamento di tipo tradizionale. Nei bagni, nel ripostiglio e nel connettivo orizzontale e verticale occorre provvedere al riscaldamento con metodi tradizionali.

#### 7.3.1 Calcolo del rapporto carico superficie serra

|                           | <i>soggiorno</i> | <i>cucina</i> |
|---------------------------|------------------|---------------|
| $S [m^2]$                 | 36,15            | 9,10          |
| $V [m^3]$                 | 104,8            | 26,39         |
| $K_v [W/m^2\text{°C}]$    | 3,096            | 3,096         |
| $C_{ds} [W/m^3\text{°C}]$ | 4,903            | 4,551         |
| $C_p [J/Kg\text{°C}]$     | 1000             | 1000          |
| $\rho [Kg/m^3]$           | 1,2              | 1,2           |
| $n$                       | 1                | 1             |
| $1/3600$                  | 0,00028          | 0,00028       |
| $H_v [W/\text{°C}]$       | 6,77             | 3,87          |
| $C_{vs} [W/m^3\text{°C}]$ | 0,333            | 0,333         |
| $A [m^2]$                 | 7                | 4             |
| $P [m]$                   | 9                | 5             |
| $P/A [m^{-1}]$            | 1,286            | 1,250         |
| <i>terreno</i>            | sabbia           | Sabbia        |
| $\lambda [W/mK]$          | 2,0              | 2,0           |

|                                           |               |               |
|-------------------------------------------|---------------|---------------|
| $Rp[m^2K/W]$                              | 0,5           | 0,5           |
| $Uo[W/m^2K]$                              | 1,634         | 1,625         |
| $D[m]$                                    | 0,25          | 0,25          |
| $dis[m]$                                  | 0,03          | 0,03          |
| $\lambda is[W/mK]$                        | 0,038         | 0,038         |
| $R'[m^2K/W]$                              | 0,774         | 0,774         |
| $\Delta\psi [W/mK]$                       | -0,14         | -0,14         |
| $Hg[W/K]$                                 | 10,178        | 5,800         |
| $Cdg [W/m^3^\circ C]$                     | 0,501         | 0,500         |
| $Cgs [W/m^3^\circ C]$                     | 5,738         | 5,384         |
| $Vs[m^3]$                                 | 32,15         | 11,60         |
| <i>ore/giorno</i>                         | 24            | 24            |
| $Asn [m^2]$                               | 22,04         | 10,15         |
| <b><math>RCSs[Wh/m^2^\circ GG]</math></b> | <b>200,88</b> | <b>147,67</b> |

### 7.3.2 Calcolo del rapporto carico superficie muro Trombe (tabellato)

|                                               | <i>camera LM</i> | <i>camera L2</i> | <i>camera L1</i> |
|-----------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b><math>RCS_{mT}[Wh/m^2^\circ GG]</math></b> | <b>74,00</b>     | <b>74,00</b>     | <b>74,00</b>     |

### 7.3.3 Calcolo del rapporto carico superficie ambiente

|                                            | <i>soggiorno</i> | <i>cucina</i> | <i>camera LM</i> | <i>camera L2</i> | <i>camera L1</i> |
|--------------------------------------------|------------------|---------------|------------------|------------------|------------------|
| $H_T$                                      | 35,55            | 13,38         | 17,80            | 14,67            | 18,61            |
| $H_{T\text{ serra}}$                       | 8,72             | 4,696         | 3,128            | 2,407            | 3,61             |
| $H_T - H_{T\text{ serra}}$                 | 26,83            | 8,684         | 14,672           | 12,264           | 15               |
| $H_v$                                      | 18,62            | 4,91          | 6,81             | 6,74             | 7,54             |
| $H_{ie}$                                   | 35,078           | 0             | 19,341           | 15,956           | 21,516           |
| $H_g$                                      | 21,38            | 7,8           | 0                | 0                | 0                |
| $\Sigma H$                                 | 101,908          | 21,394        | 40,823           | 34,96            | 44,056           |
| $V$                                        | 120,408          | 24,36         | 40,880           | 40,43            | 45,2245,22       |
| $C'_g$                                     | 0,846            | 0,878         | 0,999            | 0,865            | 0,974            |
| <i>ore/giorno</i>                          | 24               | 24            | 24               | 24               | 24               |
| $A_{sn}$                                   | 22,04            | 10,15         | 7,54             | 5,8              | 8,7              |
| <b><math>RCS [Wh/m^2 \text{GG}]</math></b> | <b>110,97</b>    | <b>50,59</b>  | <b>129,94</b>    | <b>144,66</b>    | <b>121,53</b>    |

### 7.3.4 Calcolo degli $H_t$

mediando la trasmittanza della parete con e senza isolante

| DESCRIZIONE<br>DEL VANO | $f_t$ | $K$<br>[W/<br>$m^2 \text{°C}$ ] | $R_i$<br>[ $m^2 \text{°C}/$<br>W] | $K_{-}$<br>[W/<br>$m^2 \text{°C}$ ] | $A$<br>[ $m^2$ ] | incremento | $H_{t\text{ medio}}$ |
|-------------------------|-------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------|------------|----------------------|
| soggiorno               | 0,625 | 1,741                           | 1,587                             | 3,468                               | 18,85            | 1          | <b>65,37</b>         |
| cucina                  | 0,625 | 1,741                           | 1,587                             | 3,468                               | 10,15            | 1          | <b>35,20</b>         |
| camera LM               | 0,625 | 1,741                           | 1,587                             | 3,468                               | 7,54             | 1          | <b>18,25</b>         |
| camera L2               | 0,625 | 1,741                           | 1,587                             | 3,468                               | 5,80             | 1          | <b>14,04</b>         |
| camera L1               | 0,625 | 1,741                           | 1,587                             | 3,468                               | 8,70             | 1          | <b>21,06</b>         |

### 7.3.5 Calcolo degli apporti di calore gratuiti per irradiazione solare attraverso i componenti finestrati

#### SOGGIORNO SUD

| MESE     | $q_{si}$<br>[MJ/<br>m <sup>2</sup> ] | $q_{sJ}$<br>[Wh/<br>m <sup>2</sup> ] | $F_{si}$ | $F_{ci}$ | $F_{fi}$ | $g$ | $A_i$ | $A_{ei}$ | $Q_{si}$<br>[Wh/<br>giorno] |
|----------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------|----------|----------|-----|-------|----------|-----------------------------|
| novembre | 11,9                                 | 3305,56                              | 1        | 1        | 0,52     | 0,7 | 2,86  | 1,041    | <b>3441,22</b>              |
| dicembre | 9,8                                  | 2722,22                              | 1        | 1        | 0,52     | 0,7 | 2,86  | 1,041    | <b>2833,94</b>              |
| gennaio  | 11,1                                 | 3083,33                              | 1        | 1        | 0,52     | 0,7 | 2,86  | 1,041    | <b>3209,87</b>              |
| febbraio | 12,2                                 | 3388,89                              | 1        | 1        | 0,52     | 0,7 | 2,86  | 1,041    | <b>3527,97</b>              |
| marzo    | 12,5                                 | 3472,22                              | 1        | 1        | 0,52     | 0,7 | 2,86  | 1,041    | <b>3614,72</b>              |

#### SOGGIORNO SUD-EST SUD-OVEST

| MESE     | $q_{si}$<br>[MJ/<br>m <sup>2</sup> ] | $q_{sJ}$<br>[Wh/<br>m <sup>2</sup> ] | $F_{si}$ | $F_{ci}$ | $F_{fi}$ | $g$ | $A_i$ | $A_{ei}$ | $Q_{si}$<br>[Wh/<br>giorno] |
|----------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------|----------|----------|-----|-------|----------|-----------------------------|
| novembre | 9,6                                  | 2666,67                              | 1        | 1        | 0,75     | 0,7 | 1,7   | 0,893    | <b>2380,00</b>              |
| dicembre | 7,7                                  | 2138,89                              | 1        | 1        | 0,75     | 0,7 | 1,7   | 0,893    | <b>1908,96</b>              |
| gennaio  | 8,8                                  | 2444,44                              | 1        | 1        | 0,75     | 0,7 | 1,7   | 0,893    | <b>2181,67</b>              |
| febbraio | 10,3                                 | 2861,11                              | 1        | 1        | 0,75     | 0,7 | 1,7   | 0,893    | <b>2553,54</b>              |
| marzo    | 12                                   | 3333,33                              | 1        | 1        | 0,75     | 0,7 | 1,7   | 0,893    | <b>2975,00</b>              |

## SOGGIORNO OVEST

| MESE     | q <sub>si</sub><br>[MJ/<br>m <sup>2</sup> ] | q <sub>sJ</sub><br>[Wh/<br>m <sup>2</sup> ] | F <sub>si</sub> | F <sub>ci</sub> | F <sub>fi</sub> | g   | A <sub>i</sub> | A <sub>ei</sub> | Q <sub>si</sub><br>[Wh/<br>giorno] |
|----------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----|----------------|-----------------|------------------------------------|
| novembre | 5,9                                         | 1638,89                                     | 1               | 1               | 0,43            | 0,7 | 1,44           | 0,433           | <b>710,36</b>                      |
| dicembre | 4,5                                         | 1250,00                                     | 1               | 1               | 0,43            | 0,7 | 1,44           | 0,433           | <b>541,80</b>                      |
| gennaio  | 5,2                                         | 1444,44                                     | 1               | 1               | 0,43            | 0,7 | 1,44           | 0,433           | <b>626,08</b>                      |
| febbraio | 7,2                                         | 2000,00                                     | 1               | 1               | 0,43            | 0,7 | 1,44           | 0,433           | <b>866,88</b>                      |
| marzo    | 9,8                                         | 2722,22                                     | 1               | 1               | 0,43            | 0,7 | 1,44           | 0,433           | <b>1179,92</b>                     |

## CUCINA

| MESE     | q <sub>si</sub><br>[MJ/<br>m <sup>2</sup> ] | q <sub>sJ</sub><br>[Wh/<br>m <sup>2</sup> ] | F <sub>si</sub> | F <sub>ci</sub> | F <sub>fi</sub> | g   | A <sub>i</sub> | A <sub>ei</sub> | Q <sub>si</sub><br>[Wh/<br>giorno] |
|----------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----|----------------|-----------------|------------------------------------|
| novembre | 5,9                                         | 1638,89                                     | 1               | 1               | 0,43            | 0,7 | 1,44           | 0,433           | <b>710,36</b>                      |
| dicembre | 4,5                                         | 1250,00                                     | 1               | 1               | 0,43            | 0,7 | 1,44           | 0,433           | <b>541,80</b>                      |
| gennaio  | 5,2                                         | 1444,44                                     | 1               | 1               | 0,43            | 0,7 | 1,44           | 0,433           | <b>626,08</b>                      |
| febbraio | 7,2                                         | 2000,00                                     | 1               | 1               | 0,43            | 0,7 | 1,44           | 0,433           | <b>866,88</b>                      |
| marzo    | 9,8                                         | 2722,22                                     | 1               | 1               | 0,43            | 0,7 | 1,44           | 0,433           | <b>1179,92</b>                     |



## CAMERA LM

| MESE     | q <sub>si</sub><br>[MJ/<br>m <sup>2</sup> ] | q <sub>sJ</sub><br>[Wh/<br>m <sup>2</sup> ] | F <sub>si</sub> | F <sub>ci</sub> | F <sub>fi</sub> | g   | A <sub>i</sub> | A <sub>ei</sub> | Q <sub>si</sub><br>[Wh/<br>giorno] |
|----------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----|----------------|-----------------|------------------------------------|
| novembre | 11,9                                        | 3305,56                                     | 1               | 1               | 0,44            | 0,7 | 1,95           | 0,601           | <b>1985,32</b>                     |
| dicembre | 9,8                                         | 2722,22                                     | 1               | 1               | 0,44            | 0,7 | 1,95           | 0,601           | <b>1634,97</b>                     |
| gennaio  | 11,1                                        | 3083,33                                     | 1               | 1               | 0,44            | 0,7 | 1,95           | 0,601           | <b>1851,85</b>                     |
| febbraio | 12,2                                        | 3388,89                                     | 1               | 1               | 0,44            | 0,7 | 1,95           | 0,601           | <b>2035,37</b>                     |
| marzo    | 12,5                                        | 3472,22                                     | 1               | 1               | 0,44            | 0,7 | 1,5            | 0,601           | <b>2085,42</b>                     |

## CAMERA L2

| MESE     | q <sub>si</sub><br>[MJ/<br>m <sup>2</sup> ] | q <sub>sJ</sub><br>[Wh/<br>m <sup>2</sup> ] | F <sub>si</sub> | F <sub>ci</sub> | F <sub>fi</sub> | g   | A <sub>i</sub> | A <sub>ei</sub> | Q <sub>si</sub><br>[Wh/<br>giorno] |
|----------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----|----------------|-----------------|------------------------------------|
| novembre | 11,9                                        | 3305,56                                     | 1               | 1               | 0,52            | 0,7 | 2,86           | 1,041           | <b>3441,22</b>                     |
| dicembre | 9,8                                         | 2722,22                                     | 1               | 1               | 0,52            | 0,7 | 2,86           | 1,041           | <b>2833,94</b>                     |
| gennaio  | 11,1                                        | 3083,33                                     | 1               | 1               | 0,52            | 0,7 | 2,86           | 1,041           | <b>3209,87</b>                     |
| febbraio | 12,2                                        | 3388,89                                     | 1               | 1               | 0,52            | 0,7 | 2,86           | 1,041           | <b>3527,97</b>                     |
| marzo    | 12,5                                        | 3472,22                                     | 1               | 1               | 0,52            | 0,7 | 2,86           | 1,041           | <b>3614,72</b>                     |

## CAMERA L1

| MESE     | $q_{si}$<br>[MJ/<br>m <sup>2</sup> ] | $q_{sJ}$<br>[Wh/<br>m <sup>2</sup> ] | $F_{si}$ | $F_{ci}$ | $F_{fi}$ | $g$ | $A_i$ | $A_{ei}$ | $Q_{si}$<br>[Wh/<br>giorno] |
|----------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------|----------|----------|-----|-------|----------|-----------------------------|
| novembre | 11,9                                 | 3305,56                              | 1        | 1        | 0,44     | 0,7 | 1,95  | 1,601    | <b>1985,32</b>              |
| dicembre | 9,8                                  | 2722,22                              | 1        | 1        | 0,44     | 0,7 | 1,95  | 1,601    | <b>1634,97</b>              |
| gennaio  | 11,1                                 | 3083,33                              | 1        | 1        | 0,44     | 0,7 | 1,95  | 1,601    | <b>1851,85</b>              |
| febbraio | 12,2                                 | 3388,89                              | 1        | 1        | 0,44     | 0,7 | 1,95  | 1,601    | <b>2035,37</b>              |
| marzo    | 12,5                                 | 3472,22                              | 1        | 1        | 0,44     | 0,7 | 1,95  | 1,601    | <b>2085,42</b>              |

## 7.3.6 Calcolo della temperatura di base

|                   | <i>soggiorno</i> | <i>cucina</i> | <i>camera LM</i> | <i>camera L2</i> | <i>camera L1</i> |
|-------------------|------------------|---------------|------------------|------------------|------------------|
| $H_{Tmedio}$      | 65,37            | 35,20         | 18,25            | 14,04            | 21,06            |
| $H_v$             | 18,62            | 4,91          | 6,81             | 6,74             | 7,54             |
| $H_{ie}$          | 35,078           | 0             | 19,341           | 15,956           | 21,516           |
| $H_g$             | 21,38            | 7,8           | 0                | 0                | 0                |
| $\Sigma H$        | 140,45           | 74,91         | 44,40            | 36,73            | 50,11            |
| $V$               | 120,408          | 24,36         | 40,88            | 40,43            | 45,22            |
| $C_g$             | 1,166            | 1,967         | 1,086            | 0,909            | 1,108            |
| <i>ore/giorno</i> | 24               | 24            | 24               | 24               | 24               |
| $Q_{grat}$        | 40               | 40            | 10               | 10               | 10               |
| $Q$               | 4816,32          | 974,40        | 408,80           | 404,32           | 452,20           |
| $T_r$             | 20,00            | 20,00         | 20,00            | 20,00            | 20,00            |

## SOGGIORNO

| MESE     | $Q_{si}$<br>[Wh/<br>giorno] | $T_b$        |
|----------|-----------------------------|--------------|
| novembre | 6531,58                     | <b>16,63</b> |
| dicembre | 5284,70                     | <b>17,00</b> |
| gennaio  | 6017,62                     | <b>16,79</b> |
| febbraio | 6948,39                     | <b>16,51</b> |
| marzo    | 7769,64                     | <b>16,27</b> |

## CUCINA

| MESE     | $Q_{si}$<br>[Wh/<br>giorno] | $T_b$        |
|----------|-----------------------------|--------------|
| novembre | 710,36                      | <b>18,53</b> |
| dicembre | 541,80                      | <b>18,68</b> |
| gennaio  | 626,08                      | <b>18,61</b> |
| febbraio | 866,88                      | <b>18,40</b> |
| marzo    | 1179,92                     | <b>18,13</b> |

## CAMERA LM

| MESE     | Q <sub>si</sub><br>[Wh/<br>giorno] | T <sub>b</sub> |
|----------|------------------------------------|----------------|
| novembre | 1985,32                            | <b>17,75</b>   |
| dicembre | 1634,97                            | <b>18,08</b>   |
| gennaio  | 1851,85                            | <b>17,88</b>   |
| febbraio | 2035,37                            | <b>17,71</b>   |
| marzo    | 2085,42                            | <b>17,66</b>   |

## CAMERA L2

| MESE     | Q <sub>si</sub><br>[Wh/<br>giorno] | T <sub>b</sub> |
|----------|------------------------------------|----------------|
| novembre | 3441,22                            | <b>15,64</b>   |
| dicembre | 2833,94                            | <b>16,33</b>   |
| gennaio  | 3209,87                            | <b>15,90</b>   |
| febbraio | 3527,97                            | <b>15,54</b>   |
| marzo    | 3614,72                            | <b>15,44</b>   |

## CAMERA L1

| MESE     | Q <sub>si</sub><br>[Wh/<br>giorno] | T <sub>b</sub> |
|----------|------------------------------------|----------------|
| novembre | 1985,32                            | <b>17,97</b>   |
| dicembre | 1634,97                            | <b>18,26</b>   |
| gennaio  | 1851,85                            | <b>19,08</b>   |
| febbraio | 2035,37                            | <b>17,93</b>   |
| marzo    | 2085,42                            | <b>17,89</b>   |

## 7.3.7 Calcolo del calore ausiliario necessario per gli ambienti con serra

| LOCALITA' | LATITUDINE | SERRA TIPO |
|-----------|------------|------------|
| Napoli    | 40,866°    | D2         |

| mese | D     | Y     | I <sub>o</sub> [Wh/<br>m <sup>2</sup> g] | g  | AA      | BB       | CC      | DD       | EE      | FF    | K <sub>t</sub> | S [Wh/<br>m <sup>2</sup> ] |
|------|-------|-------|------------------------------------------|----|---------|----------|---------|----------|---------|-------|----------------|----------------------------|
| nov  | -19,2 | 0,601 | 2067                                     | 30 | 0,73147 | -0,15418 | 0,50763 | -0,15276 | 0,14608 | 3,695 | 0,47           | 87931,55                   |
| dic  | -23,3 | 0,642 | 1517                                     | 31 | 0,73147 | -0,15418 | 0,50763 | -0,15276 | 0,14608 | 3,695 | 0,47           | 67770,14                   |
| gen  | -21,4 | 0,623 | 1838                                     | 31 | 0,73147 | -0,15418 | 0,50763 | -0,15276 | 0,14608 | 3,695 | 0,47           | 80225,17                   |
| feb  | -13,3 | 0,542 | 2628                                     | 28 | 0,73147 | -0,15418 | 0,50763 | -0,15276 | 0,14608 | 3,695 | 0,47           | 89867,21                   |
| mar  | -2,8  | 0,437 | 3855                                     | 31 | 0,73147 | -0,15418 | 0,50763 | -0,15276 | 0,14608 | 3,695 | 0,47           | 125510,1                   |

## SOGGIORNO

| mese | Te<br>[°C] | T <sub>b</sub><br>[C] | GG<br>[°Cg] | S<br>[Wh/<br>m <sup>2</sup> ] | RCSs   | RCS    | H    | RIF     | C    | D    | FRS   | L <sub>n</sub><br>[KW<br>h] | Q <sub>aux</sub><br>[KW<br>h] |
|------|------------|-----------------------|-------------|-------------------------------|--------|--------|------|---------|------|------|-------|-----------------------------|-------------------------------|
| nov  | 15,5       | 16,63                 | 34,00       | 87931,55                      | 200,88 | 110,97 | 0,70 | 22,0369 | 1,04 | 0,87 | 1     | 46,74                       | <b>0,00</b>                   |
| dic  | 12,1       | 17,00                 | 152,00      | 67770,14                      | 200,88 | 110,97 | 0,70 | 2,7506  | 1,04 | 0,87 | 0,905 | 104,75                      | <b>9,90</b>                   |
| gen  | 10,5       | 16,79                 | 194,86      | 80225,17                      | 200,88 | 110,97 | 0,70 | 2,4429  | 1,04 | 0,87 | 0,876 | 129,05                      | <b>15,96</b>                  |
| feb  | 10,6       | 16,51                 | 165,47      | 89867,21                      | 200,88 | 110,97 | 0,70 | 3,6269  | 1,04 | 0,87 | 0,956 | 112,11                      | <b>4,92</b>                   |
| mar  | 13,2       | 16,27                 | 95,05       | 125510,1                      | 200,88 | 110,97 | 0,70 | 10,6322 | 1,04 | 0,87 | 0,999 | 78,41                       | <b>0,01</b>                   |

| mese     | Q <sub>L</sub> [W] | Q <sub>L</sub> [W h] | Q <sub>L</sub><br>[KWh] | Q <sub>aux</sub> [KWh] | Q <sub>RISP</sub> [KWh] |
|----------|--------------------|----------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| novembre | 460,95             | 342946,8             | 342,95                  | 0,00                   | <b>342,95</b>           |
| dicembre | 809,22             | 602059,7             | 602,06                  | 9,90                   | <b>592,16</b>           |
| gennaio  | 973,11             | 723993,8             | 723,99                  | 15,96                  | <b>708,03</b>           |
| febbraio | 962,87             | 716375,3             | 716,38                  | 4,92                   | <b>711,46</b>           |
| marzo    | 696,54             | 518225,8             | 518,23                  | 0,01                   | <b>518,22</b>           |

## CUCINA

| mese | Te<br>[°C] | T <sub>b</sub><br>[C] | GG<br>[°Cg] | S<br>[Wh/<br>m <sup>2</sup> ] | RCSs   | RCS   | H    | RIF      | C     | D    | FRS  | L <sub>n</sub><br>[KW<br>h] | Q <sub>aux</sub><br>[KW<br>h] |
|------|------------|-----------------------|-------------|-------------------------------|--------|-------|------|----------|-------|------|------|-----------------------------|-------------------------------|
| nov  | 15,5       | 18,53                 | 91,04       | 87931,55                      | 147,67 | 50,59 | 0,70 | 17,04909 | 1,049 | 0,87 | 1,00 | 46,746                      | <b>0,00</b>                   |
| dic  | 12,1       | 18,68                 | 204,02      | 67770,14                      | 147,67 | 50,59 | 0,70 | 4,522917 | 1,049 | 0,87 | 0,98 | 104,75                      | <b>2,10</b>                   |
| gen  | 10,5       | 18,61                 | 251,35      | 80225,17                      | 147,67 | 50,59 | 0,70 | 4,266064 | 1,049 | 0,87 | 0,97 | 129,05                      | <b>3,24</b>                   |
| feb  | 10,6       | 18,40                 | 218,36      | 89867,21                      | 147,67 | 50,59 | 0,70 | 6,092131 | 1,049 | 0,87 | 0,99 | 112,11                      | <b>0,57</b>                   |
| mar  | 13,2       | 18,13                 | 152,72      | 125510,1                      | 147,67 | 50,59 | 0,70 | 14,2028  | 1,049 | 0,87 | 1,00 | 78,413                      | <b>0,00</b>                   |

| mese     | $Q_L$ [W] | $Q_L$ [W h] | $Q_L$ [KWh] | $Q_{aux}$ [KWh] | $Q_{RISP}$ [KWh] |
|----------|-----------|-------------|-------------|-----------------|------------------|
| novembre | 108,66    | 80843,0     | 80,84       | 0,00            | <b>80,84</b>     |
| dicembre | 190,77    | 141932,9    | 141,93      | 2,10            | <b>139,84</b>    |
| gennaio  | 229,40    | 170673,6    | 170,67      | 3,24            | <b>167,44</b>    |
| febbraio | 226,99    | 168880,6    | 168,88      | 0,57            | <b>168,31</b>    |
| marzo    | 164,20    | 122164,8    | 122,16      | 0,00            | <b>122,16</b>    |

### 7.3.8 Calcolo del calore ausiliario necessario per gli ambienti con muro Trombe

| LOCALITA' | LATITUDINE | Muro Trombe |
|-----------|------------|-------------|
| Napoli    | 40,866°    |             |

| mese | D     | Y     | $I_o$ [Wh/<br>$m^2g$ ] | g  | $\alpha$ | $\rho d$ | $\alpha'$ | f | FS   | $K_t$ | S [Wh/<br>$m^2$ ] |
|------|-------|-------|------------------------|----|----------|----------|-----------|---|------|-------|-------------------|
| nov  | -19,2 | 0,601 | 2067                   | 30 | 0,78     | 0,24     | 0,82348   | 1 | 2747 | 0,47  | 67862,96          |
| dic  | -23,3 | 0,642 | 1517                   | 31 | 0,78     | 0,24     | 0,82348   | 1 | 2747 | 0,41  | 56084,73          |
| gen  | -21,4 | 0,623 | 1838                   | 31 | 0,78     | 0,24     | 0,82348   | 1 | 2747 | 0,42  | 59377,83          |
| feb  | -13,3 | 0,542 | 2628                   | 28 | 0,78     | 0,24     | 0,82348   | 1 | 2747 | 0,42  | 55660,64          |
| mar  | -2,8  | 0,437 | 3855                   | 31 | 0,78     | 0,24     | 0,82348   | 1 | 2747 | 0,47  | 64687,63          |

## CAMERA LM

| mese | Te<br>[°C] | T <sub>b</sub><br>[C] | GG<br>[°Cg] | S<br>[Wh/<br>m <sup>2</sup> ] | RCSs  | RCS           | H    | RIF    | C     | D    | FRS  | L <sub>n</sub><br>[KW<br>h] | Q <sub>aux</sub><br>[KW<br>h] |
|------|------------|-----------------------|-------------|-------------------------------|-------|---------------|------|--------|-------|------|------|-----------------------------|-------------------------------|
| nov  | 15,5       | 17,75                 | 67,60       | 67862,96                      | 74,00 | 129,94        | 0,85 | 7,2421 | 0,982 | 0,60 | 0,98 | 46,75                       | <b>0,59</b>                   |
| dic  | 12,1       | 18,08                 | 185,44      | 56084,73                      | 74,00 | <b>129,94</b> | 0,85 | 1,8434 | 0,968 | 0,46 | 0,59 | 104,76                      | <b>42,79</b>                  |
| gen  | 10,5       | 17,88                 | 228,73      | 59377,83                      | 74,00 | 129,94        | 0,85 | 1,5137 | 0,968 | 0,46 | 0,52 | 129,06                      | <b>61,53</b>                  |
| feb  | 10,6       | 17,71                 | 198,97      | 55660,64                      | 74,00 | 129,94        | 0,85 | 1,6687 | 0,938 | 0,46 | 0,55 | 112,12                      | <b>49,71</b>                  |
| mar  | 13,2       | 17,66                 | 138,24      | 64687,63                      | 74,00 | 129,94        | 0,85 | 3,1172 | 0,968 | 0,46 | 0,77 | 78,41                       | <b>17,64</b>                  |

| mese     | Q <sub>L</sub> [W] | Q <sub>L</sub> [W h] | Q <sub>L</sub><br>[KWh] | Q <sub>aux</sub> [KWh] | Q <sub>RISP</sub> [KWh] |
|----------|--------------------|----------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| novembre | 183,13             | 136248,7             | 136,25                  | 0,59                   | <b>135,66</b>           |
| dicembre | 321,50             | 239196,0             | 239,20                  | 42,79                  | <b>196,40</b>           |
| gennaio  | 386,61             | 287637,8             | 287,64                  | 61,53                  | <b>226,11</b>           |
| febbraio | 382,54             | 284609,8             | 284,61                  | 49,71                  | <b>234,90</b>           |
| marzo    | 276,73             | 205887,1             | 205,89                  | 17,64                  | <b>188,26</b>           |

## CAMERA L2

| mese | Te<br>[°C] | T <sub>b</sub><br>[C] | GG<br>[°Cg] | S<br>[Wh/<br>m <sup>2</sup> ] | RCSs  | RCS    | H    | RIF     | C     | D    | FRS  | L <sub>n</sub><br>[KW<br>h] | Q <sub>aux</sub><br>[KW<br>h] |
|------|------------|-----------------------|-------------|-------------------------------|-------|--------|------|---------|-------|------|------|-----------------------------|-------------------------------|
| nov  | 15,5       | 15,64                 | 4,14        | 67862,96                      | 74,00 | 144,66 | 0,85 | 12,9319 | 0,982 | 0,60 | 1,00 | 46,75                       | <b>0,00</b>                   |
| dic  | 12,1       | 16,33                 | 131,03      | 56084,73                      | 74,00 | 144,66 | 0,85 | 2,5240  | 0,968 | 0,46 | 0,70 | 104,76                      | <b>31,11</b>                  |
| gen  | 10,5       | 15,90                 | 167,41      | 59377,83                      | 74,00 | 144,66 | 0,85 | 2,0170  | 0,968 | 0,46 | 0,62 | 129,06                      | <b>48,60</b>                  |
| feb  | 10,6       | 15,54                 | 138,31      | 55660,64                      | 74,00 | 144,66 | 0,85 | 2,3471  | 0,938 | 0,46 | 0,67 | 112,12                      | <b>36,17</b>                  |
| mar  | 13,2       | 15,44                 | 69,47       | 64687,63                      | 74,00 | 144,66 | 0,85 | 6,0015  | 0,968 | 0,46 | 0,94 | 78,41                       | <b>4,57</b>                   |



| mese     | Q <sub>L</sub> [W] | Q <sub>L</sub> [W h] | Q <sub>L</sub> [KWh] | Q <sub>aux</sub> [KWh] | Q <sub>RISP</sub> [KWh] |
|----------|--------------------|----------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|
| novembre | 155,68             | 115825,90            | 115,83               | 0,00                   | <b>115,80</b>           |
| dicembre | 273,30             | 203335,20            | 203,34               | 31,11                  | <b>172,22</b>           |
| gennaio  | 328,66             | 244523,00            | 244,52               | 48,60                  | <b>195,92</b>           |
| febbraio | 325,20             | 241948,80            | 241,95               | 36,17                  | <b>205,78</b>           |
| marzo    | 235,25             | 175026,00            | 175,03               | 4,57                   | <b>170,46</b>           |

## CAMERA L1

| mese | Te<br>[°C] | T <sub>b</sub><br>[C] | GG<br>[°Cg] | S<br>[Wh/<br>m <sup>2</sup> ] | RCSs  | RCS    | H    | RIF    | C     | D    | FRS   | L <sub>n</sub><br>[KW<br>h] | Q <sub>aux</sub><br>[KW<br>h] |
|------|------------|-----------------------|-------------|-------------------------------|-------|--------|------|--------|-------|------|-------|-----------------------------|-------------------------------|
| nov  | 15,5       | 17,97                 | 74,20       | 67862,96                      | 74,00 | 121,53 | 0,85 | 7,0082 | 0,982 | 0,60 | 0,985 | 46,75                       | <b>0,68</b>                   |
| dic  | 12,1       | 18,26                 | 191,10      | 56084,73                      | 74,00 | 121,53 | 0,85 | 1,8973 | 0,968 | 0,46 | 0,601 | 104,76                      | <b>41,73</b>                  |
| gen  | 10,5       | 18,08                 | 235,11      | 59377,83                      | 74,00 | 121,53 | 0,85 | 1,5605 | 0,968 | 0,46 | 0,533 | 129,06                      | <b>60,19</b>                  |
| feb  | 10,6       | 17,93                 | 205,29      | 55660,64                      | 74,00 | 121,53 | 0,85 | 1,7134 | 0,938 | 0,46 | 0,565 | 112,12                      | <b>48,68</b>                  |
| mar  | 13,2       | 17,89                 | 145,39      | 64687,63                      | 74,00 | 121,53 | 0,85 | 3,1434 | 0,968 | 0,46 | 0,777 | 78,41                       | <b>17,42</b>                  |

| mese     | Q <sub>L</sub> [W] | Q <sub>L</sub> [W h] | Q <sub>L</sub> [KWh] | Q <sub>aux</sub> [KWh] | Q <sub>RISP</sub> [KWh] |
|----------|--------------------|----------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|
| novembre | 198,59             | 147751,0             | 147,75               | 0,68                   | <b>147,08</b>           |
| dicembre | 348,64             | 259388,2             | 259,39               | 41,73                  | <b>217,66</b>           |
| gennaio  | 419,25             | 311922,0             | 311,92               | 60,19                  | <b>251,73</b>           |
| febbraio | 414,83             | 308633,5             | 308,63               | 48,68                  | <b>259,96</b>           |
| marzo    | 300,09             | 223267,0             | 223,27               | 17,42                  | <b>205,84</b>           |

## 7.4 Calcolo della temperatura media e delle fluttuazioni della temperatura interna

Data la complessità dei modelli di calcolo, il calcolo delle condizioni di comfort interno è stato eseguito con un modello semplificato per la valutazione della temperatura interna dell'aria dopo una successione di giornate serene.

Tale metodo consente di valutare con procedimento quasi esclusivamente sperimentale, l'intervallo di oscillazione della temperatura dell'ambiente al variare dell'elemento solare utilizzato.

I risultati ottenuti riportati di seguito sembrano abbastanza attendibili.

### SOGGIORNO

| mese | FGS <sub>s</sub><br>[Wh/<br>m <sup>2</sup> G] | C <sub>a</sub> | FS <sub>s</sub><br>[Wh/m <sup>2</sup> G] | A <sub>sn</sub><br>[m <sup>2</sup> ] | A <sub>sn</sub> /A <sub>pav</sub> | P    | f | α'      | S<br>[Wh/G] |
|------|-----------------------------------------------|----------------|------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|------|---|---------|-------------|
| nov  | 2747                                          | 0,87           | 2389,89                                  | 22,04                                | 0,53                              | 0,41 | 1 | 0,82348 | 17783,9     |
| dic  | 2197                                          | 0,87           | 1911,39                                  | 22,04                                | 0,53                              | 0,41 | 1 | 0,82348 | 14223,2     |
| gen  | 2326                                          | 0,87           | 2023,62                                  | 22,04                                | 0,53                              | 0,41 | 1 | 0,82348 | 15048,3     |
| feb  | 2414                                          | 0,87           | 2100,18                                  | 22,04                                | 0,53                              | 0,41 | 1 | 0,82348 | 15628,1     |
| mar  | 2534                                          | 0,87           | 2204,58                                  | 22,04                                | 0,53                              | 0,41 | 1 | 0,82348 | 16404,9     |

| mese | Q<br>[Wh/<br>G] | C <sub>g</sub><br>[Wh/<br>m <sup>2</sup> °C] | V      | h/giorno | Δ <sub>ts</sub> | t <sub>e</sub><br>[°C] | t <sub>i</sub><br>[°C] | Coeff. | Δ <sub>tf</sub><br>[°C] |
|------|-----------------|----------------------------------------------|--------|----------|-----------------|------------------------|------------------------|--------|-------------------------|
| nov  | 6531,5          | 1,17                                         | 120,41 | 24       | 7,21            | 15,5                   | 22,71                  | 0,74   | <b>5,34</b>             |
| dic  | 5284,7          | 1,17                                         | 120,41 | 24       | 5,79            | 12,1                   | 17,89                  | 0,74   | <b>4,28</b>             |
| gen  | 6017,6          | 1,17                                         | 120,41 | 24       | 6,25            | 10,5                   | 16,75                  | 0,74   | <b>4,63</b>             |
| feb  | 6948,3          | 1,17                                         | 120,41 | 24       | 6,70            | 10,6                   | 17,30                  | 0,74   | <b>4,96</b>             |
| mar  | 7769,6          | 1,17                                         | 120,41 | 24       | 7,17            | 13,2                   | 20,37                  | 0,74   | <b>5,31</b>             |

## CUCINA

| mese | FGS <sub>s</sub><br>[Wh/<br>m <sup>2</sup> G] | C <sub>a</sub> | FS <sub>s</sub><br>[Wh/m <sup>2</sup> G] | A <sub>sn</sub><br>[m <sup>2</sup> ] | A <sub>sn</sub> /A <sub>pav</sub> | P    | f | α'      | S<br>[Wh/G] |
|------|-----------------------------------------------|----------------|------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|------|---|---------|-------------|
| nov  | 2747                                          | 0,87           | 2389,89                                  | 10,15                                | 1,21                              | 0,33 | 1 | 0,82348 | 6591,9      |
| dic  | 2197                                          | 0,87           | 1911,39                                  | 10,15                                | 1,21                              | 0,33 | 1 | 0,82348 | 5272,1      |
| gen  | 2326                                          | 0,87           | 2023,62                                  | 10,15                                | 1,21                              | 0,33 | 1 | 0,82348 | 5581,6      |
| feb  | 2414                                          | 0,87           | 2100,18                                  | 10,15                                | 1,21                              | 0,33 | 1 | 0,82348 | 5792,8      |
| mar  | 2534                                          | 0,87           | 2204,58                                  | 10,15                                | 1,21                              | 0,33 | 1 | 0,82348 | 6080,8      |

| mese | Q<br>[Wh/<br>G] | C <sub>g</sub><br>[Wh/<br>m <sup>2</sup> °C] | V     | h/giorno | Δ <sub>ts</sub> | t <sub>e</sub><br>[°C] | t <sub>i</sub><br>[°C] | Coeff. | Δ <sub>tr</sub><br>[°C] |
|------|-----------------|----------------------------------------------|-------|----------|-----------------|------------------------|------------------------|--------|-------------------------|
| nov  | 710,36          | 1,97                                         | 24,36 | 24       | 6,35            | 15,5                   | 21,85                  | 0,74   | <b>4,70</b>             |
| dic  | 541,80          | 1,97                                         | 24,36 | 24       | 5,06            | 12,1                   | 17,16                  | 0,74   | <b>3,74</b>             |
| gen  | 626,08          | 1,97                                         | 24,36 | 24       | 5,40            | 10,5                   | 15,90                  | 0,74   | <b>4,00</b>             |
| feb  | 866,88          | 1,97                                         | 24,36 | 24       | 5,79            | 10,6                   | 16,39                  | 0,74   | <b>4,29</b>             |
| mar  | 1179,9          | 1,97                                         | 24,36 | 24       | 6,31            | 13,2                   | 19,51                  | 0,74   | <b>4,67</b>             |

## CAMERA LM

| mese | FGS <sub>s</sub><br>[Wh/<br>m <sup>2</sup> G] | C <sub>a</sub> | FS <sub>s</sub><br>[Wh/m <sup>2</sup> G] | A <sub>sn</sub><br>[m <sup>2</sup> ] | A <sub>sn</sub> /A <sub>pav</sub> | P    | f | α'      | S<br>[Wh/G] |
|------|-----------------------------------------------|----------------|------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|------|---|---------|-------------|
| nov  | 2747                                          | 0,87           | 2389,89                                  | 7,54                                 | 0,51                              | 0,45 | 1 | 0,82348 | 6677,5      |
| dic  | 2197                                          | 0,87           | 1911,39                                  | 7,54                                 | 0,51                              | 0,45 | 1 | 0,82348 | 5340,6      |
| gen  | 2326                                          | 0,87           | 2023,62                                  | 7,54                                 | 0,51                              | 0,45 | 1 | 0,82348 | 5654,1      |
| feb  | 2414                                          | 0,87           | 2100,18                                  | 7,54                                 | 0,51                              | 0,45 | 1 | 0,82348 | 5868,0      |
| mar  | 2534                                          | 0,87           | 2204,58                                  | 7,54                                 | 0,51                              | 0,45 | 1 | 0,82348 | 6159,7      |

| mese | Q<br>[Wh/<br>G] | C <sub>g</sub><br>[Wh/<br>m <sup>2</sup> °C] | V    | h/giorno | Δ <sub>ts</sub> | t <sub>e</sub><br>[°C] | t <sub>i</sub><br>[°C] | Coeff. | Δ <sub>tf</sub><br>[°C] |
|------|-----------------|----------------------------------------------|------|----------|-----------------|------------------------|------------------------|--------|-------------------------|
| nov  | 1985,3          | 1,97                                         | 40,8 | 24       | 8               | 15,5                   | 23,63                  | 0,65   | <b>5,28</b>             |
| dic  | 1634,9          | 1,97                                         | 40,8 | 24       | 7               | 12,1                   | 18,65                  | 0,65   | <b>4,26</b>             |
| gen  | 1851,8          | 1,97                                         | 40,8 | 24       | 7               | 10,5                   | 17,54                  | 0,65   | <b>4,58</b>             |
| feb  | 2035,3          | 1,97                                         | 40,8 | 24       | 7               | 10,6                   | 18,02                  | 0,65   | <b>4,82</b>             |
| mar  | 2085,4          | 1,97                                         | 40,8 | 24       | 8               | 13,2                   | 20,94                  | 0,65   | <b>5,03</b>             |

## CAMERA L2

| mese | FGS <sub>s</sub><br>[Wh/<br>m <sup>2</sup> G] | C <sub>a</sub> | FS <sub>s</sub><br>[Wh/m <sup>2</sup> G] | A <sub>sn</sub><br>[m <sup>2</sup> ] | A <sub>sn</sub> /A <sub>pav</sub> | P    | f | α'      | S<br>[Wh/G] |
|------|-----------------------------------------------|----------------|------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|------|---|---------|-------------|
| nov  | 2747                                          | 0,87           | 2389,89                                  | 5,8                                  | 0,40                              | 0,44 | 1 | 0,82348 | 5022,4      |
| dic  | 2197                                          | 0,87           | 1911,39                                  | 5,8                                  | 0,40                              | 0,44 | 1 | 0,82348 | 4016,8      |
| gen  | 2326                                          | 0,87           | 2023,62                                  | 5,8                                  | 0,40                              | 0,44 | 1 | 0,82348 | 4252,7      |
| feb  | 2414                                          | 0,87           | 2100,18                                  | 5,8                                  | 0,40                              | 0,44 | 1 | 0,82348 | 4413,6      |
| mar  | 2534                                          | 0,87           | 2204,58                                  | 5,8                                  | 0,40                              | 0,44 | 1 | 0,82348 | 4633,0      |

| mese | Q<br>[Wh/<br>G] | C <sub>g</sub><br>[Wh/<br>m <sup>2</sup> °C] | V    | h/giorno | Δ <sub>ts</sub> | t <sub>e</sub><br>[°C] | t <sub>i</sub><br>[°C] | Coeff. | Δ <sub>tf</sub><br>[°C] |
|------|-----------------|----------------------------------------------|------|----------|-----------------|------------------------|------------------------|--------|-------------------------|
| nov  | 3441,2          | 0,91                                         | 40,8 | 24       | 10              | 15,5                   | 25,10                  | 0,65   | <b>6,24</b>             |
| dic  | 2833,9          | 0,91                                         | 40,8 | 24       | 8               | 12,1                   | 19,87                  | 0,65   | <b>5,05</b>             |
| gen  | 3209,8          | 0,91                                         | 40,8 | 24       | 8               | 10,5                   | 18,96                  | 0,65   | <b>5,50</b>             |
| feb  | 3527,9          | 0,91                                         | 40,8 | 24       | 9               | 10,6                   | 19,61                  | 0,65   | <b>5,86</b>             |
| mar  | 3614,7          | 0,91                                         | 40,8 | 24       | 9               | 13,2                   | 22,56                  | 0,65   | <b>6,08</b>             |

## CAMERA L1

| mese | FGS <sub>s</sub><br>[Wh/<br>m <sup>2</sup> G] | C <sub>a</sub> | FS <sub>s</sub><br>[Wh/m <sup>2</sup> G] | A <sub>sn</sub><br>[m <sup>2</sup> ] | A <sub>sn</sub> /A <sub>pav</sub> | P    | f | α'      | S<br>[Wh/G] |
|------|-----------------------------------------------|----------------|------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|------|---|---------|-------------|
| nov  | 2747                                          | 0,87           | 2389,89                                  | 8,7                                  | 0,54                              | 0,48 | 1 | 0,82348 | 8218,5      |
| dic  | 2197                                          | 0,87           | 1911,39                                  | 8,7                                  | 0,54                              | 0,48 | 1 | 0,82348 | 6573,0      |
| gen  | 2326                                          | 0,87           | 2023,62                                  | 8,7                                  | 0,54                              | 0,48 | 1 | 0,82348 | 6958,9      |
| feb  | 2414                                          | 0,87           | 2100,18                                  | 8,7                                  | 0,54                              | 0,48 | 1 | 0,82348 | 7222,2      |
| mar  | 2534                                          | 0,87           | 2204,58                                  | 8,7                                  | 0,54                              | 0,48 | 1 | 0,82348 | 7581,2      |

| mese | Q<br>[Wh/<br>G] | C <sub>g</sub><br>[Wh/<br>m <sup>2</sup> °C] | V     | h/giorno | Δ <sub>ts</sub> | t <sub>e</sub><br>[°C] | t <sub>i</sub><br>[°C] | Coeff. | Δ <sub>tr</sub><br>[°C] |
|------|-----------------|----------------------------------------------|-------|----------|-----------------|------------------------|------------------------|--------|-------------------------|
| nov  | 1985,3          | 1,11                                         | 45,22 | 24       | 8               | 15,5                   | 23,98                  | 0,65   | <b>5,51</b>             |
| dic  | 1634,9          | 1,11                                         | 45,22 | 24       | 7               | 12,1                   | 18,92                  | 0,65   | <b>4,44</b>             |
| gen  | 1851,8          | 1,11                                         | 45,22 | 24       | 7               | 10,5                   | 17,83                  | 0,65   | <b>4,76</b>             |
| feb  | 2035,3          | 1,11                                         | 45,22 | 24       | 8               | 10,6                   | 18,30                  | 0,65   | <b>5,00</b>             |
| mar  | 2085,4          | 1,11                                         | 45,22 | 24       | 8               | 13,2                   | 21,24                  | 0,65   | <b>5,22</b>             |

## Capitolo VIII

### 8.1 Verifica della fattibilità economica dell'investimento

La verifica della fattibilità economica è stata effettuata conducendo un'analisi costi-benefici (ACB), tecnica usata per valutare la convenienza di un investimento in funzione degli obiettivi che si vogliono raggiungere.

Il primo passo per la valutazione del progetto per mezzo dell'analisi costi-benefici consiste nella corretta identificazione di tutti i costi e i benefici generati dal progetto stesso. Si tratta di un'operazione non scontata, in quanto l'intervento tende a generare, accanto a effetti immediatamente evidenti, anche costi e benefici la cui identificazione richiede un'indagine più approfondita. Una volta identificati tutti i costi e benefici generati, è poi necessario esplicitarne il valore in termini monetari, al fine di poter disporre di grandezze espresse nella stessa unità di misura e quindi confrontabili tra loro.

Il passo successivo consiste nel mettere a confronto i costi e i benefici generati dal progetto mediante l'impiego di una delle possibili regole decisionali caratteristiche di questa tecnica, la regola del valore attuale netto (VAN), che consente di accettare un progetto se la somma dei suoi benefici attualizzati al netto dei costi pure attualizzati è maggiore di zero.

### 8.2 Costo bioclimatico

Un edificio bioclimatico ha, in genere, un costo di costruzione maggiore rispetto ad un edificio convenzionale. Il risparmio nei costi di gestione assicura quasi sempre la convenienza dell'investimento.

Ipotizzando che:

1. il fabbricato venga realizzato comunque;

2. le dimensioni volumetriche siano quelle previste;
3. i sistemi bioclimatici come l'isolamento a cappotto ed il tetto ventilato siano in ogni caso posti in opera;

si può affermare, in prima approssimazione, che il costo bioclimatico è costituito esclusivamente dal valore di tutte le opere necessarie alla realizzazione delle pareti Trombe e delle serre e del costo di fornitura e posa in opera dei pannelli solari e fotovoltaici.

### 8.2.1 Costo dei sistemi solari passivi

Tale costo è stato stimato con un normale computo metrico riferitosi alle tariffe attualmente in vigore nella regione Campania e risulta pari a 18793€.

Sono state valutate anche eventuali operazioni di manutenzione ordinaria per conservare la funzionalità dei sistemi. E' facile constatare che la serra non ha bisogno di alcuna manutenzione ordinaria, mentre per il muro Trombe occorre eseguire: pulizia esterna (effettuabile autonomamente senza ricorrere a ditte esterne) e pulizia all'interno dell'intercapedine per eliminare polvere (effettuabile attraverso le bocchette con una normale aspirapolvere di media potenza). Per questa operazione si è considerato un costo annuo attualizzato pari all'1,3% dell'investimento iniziale.

Per il tasso generale di inflazione è sufficiente riferirsi al tasso di inflazione programmata previsto a livello europeo (2,5%) maggiorato del 10% (2,8%).

Per il calcolo del costo annuo di manutenzione attualizzato è stata utilizzata la seguente formula:

$$C_{m,k} = MI_0 (1 + g)^k$$

Dove M è la frazione del costo iniziale;  $I_0$  è l'investimento iniziale; g è il tasso generale d'inflazione e k è l'anno.

I valori ottenuti sono riportati nella seguente tabella (tab.8.1)

| k  | $I_0$<br>[€] | M     | g     | $C_{mk}$<br>[€] |
|----|--------------|-------|-------|-----------------|
| 1  | 18793,00     | 0,013 | 0,028 | <b>244,99</b>   |
| 2  | 0            | 0,013 | 0,028 | <b>258,18</b>   |
| 3  | 0            | 0,013 | 0,028 | <b>265,41</b>   |
| 4  | 0            | 0,013 | 0,028 | <b>272,84</b>   |
| 5  | 0            | 0,013 | 0,028 | <b>280,48</b>   |
| 6  | 0            | 0,013 | 0,028 | <b>288,33</b>   |
| 7  | 0            | 0,013 | 0,028 | <b>296,40</b>   |
| 8  | 0            | 0,013 | 0,028 | <b>304,70</b>   |
| 9  | 0            | 0,013 | 0,028 | <b>313,24</b>   |
| 10 | 0            | 0,013 | 0,028 | <b>322,01</b>   |
| 11 | 0            | 0,013 | 0,028 | <b>331,02</b>   |
| 12 | 0            | 0,013 | 0,028 | <b>340,29</b>   |
| 13 | 0            | 0,013 | 0,028 | <b>349,82</b>   |
| 14 | 0            | 0,013 | 0,028 | <b>359,61</b>   |
| 15 | 0            | 0,013 | 0,028 | <b>369,68</b>   |
| 16 | 0            | 0,013 | 0,028 | <b>380,03</b>   |
| 17 | 0            | 0,013 | 0,028 | <b>390,68</b>   |
| 18 | 0            | 0,013 | 0,028 | <b>401,62</b>   |
| 19 | 0            | 0,013 | 0,028 | <b>412,86</b>   |
| 20 | 0            | 0,013 | 0,028 | <b>424,42</b>   |

tab.8.1 -Valori del costo annuo di manutenzione attualizzato



### 8.2.2 Costo dell'impianto solare termico

Per tale impianto solare si è scelta una tecnologia a bassa temperatura costituita da un sistema a circolazione forzata, dove il liquido solare (composto da acqua e una componente antigelo) circola all'interno del collettore grazie ad una pompa ausiliaria. In questo modo, non è necessario disporre il serbatoio al di sopra del collettore. Nel complesso, il sistema è più efficiente perché una centralina (stazione solare) regola i flussi del liquido solare trasportando forzatamente una considerevole quantità di calore dal collettore all'acqua, ottimizzando sempre il rendimento. Con questo sistema, inoltre, si ha la possibilità di collocare il serbatoio all'interno dell'edificio (nel sottotetto), consentendo una maggiore capacità e un elevato isolamento termico.

Per l'analisi del costo di questo impianto, sono stati impiegati i dati raccolti con indagini di mercato e si ottenuto un costo dei pannelli pari a 4255,00 € e una spesa per il serbatoio e l'installazione di 1000,00 €. Il costo totale è 5255,00 €.

I costi di manutenzione annuali sono stati considerati dell'ordine dello 0,5% del costo iniziale dell'impianto.

### 8.2.3 Costo dell'impianto fotovoltaico

Dopo aver provveduto ad un accurato dimensionamento dell'impianto si è passati alla quantificazione dei costi.

La spesa complessiva da sostenere per l'unità abitativa proposta risulta di circa € 21000,00.

La vita media dell'impianto fotovoltaico può essere stimata tra i 25÷30 anni.

### 8.3 Risparmio energetico con i sistemi solari passivi

Sono stati calcolati i reali risparmi che si possono ottenere con un sistema di riscaldamento di tipo bioclimatico. Tali risparmi sono rappresentati dal minor utilizzo dell'impianto di riscaldamento tradizionale e pertanto dalla riduzione dei consumi di combustibile.

Noto il fabbisogno termico complessivo annuo di tutto il fabbricato e nota la quantità di calore ausiliario necessaria, è sufficiente una semplice differenza per ricavare l'energia risparmiata  $E_r$  espressa in KWh:

$$Q_L - Q_{aux} = Q_{RISP} = E_r$$

Sapendo che il potere calorifico del metano è pari a 8550 Kcal/m<sup>3</sup> e il prezzo di un m<sup>3</sup>, con una semplice conversione da Kcal a KWh si ottiene il prezzo  $e_i$  del metano espresso in €/KWh.

Il costo dell'energia non è un valore costante nel tempo ma subisce sensibili aumenti di anno in anno; pertanto, si è ritenuto opportuno stimare un tasso  $e_i$  di inflazione del costo dell'energia pari al 7%.

In definitiva il valore dei ricavi annui netti è stato calcolato con la seguente espressione:

$$R_k = E_r \cdot c_i (1 + e_i)^k$$

Dove  $E_r$  è l'energia risparmiata [KWh],  $c_i$  è il costo dell'unità di energia [€/KWh],  $e_i$  è il tasso di inflazione del costo dell'energia e  $k$  è l'anno.

I valori ottenuti sono riportati nella seguente tabella (tab.8.2)

| k  | E <sub>r</sub><br>[KWh] | c <sub>i</sub><br>[€/KWh] | e <sub>i</sub> | R <sub>k</sub><br>[€] |
|----|-------------------------|---------------------------|----------------|-----------------------|
| 1  | 6475                    | 0,46                      | 0,07           | <b>2999,81</b>        |
| 2  | 6475                    | 0,46                      | 0,07           | <b>3020,91</b>        |
| 3  | 6475                    | 0,46                      | 0,07           | <b>3041,95</b>        |
| 4  | 6475                    | 0,46                      | 0,07           | <b>3063,25</b>        |
| 5  | 6475                    | 0,46                      | 0,07           | <b>3084,69</b>        |
| 6  | 6475                    | 0,46                      | 0,07           | <b>3106,28</b>        |
| 7  | 6475                    | 0,46                      | 0,07           | <b>3128,03</b>        |
| 8  | 6475                    | 0,46                      | 0,07           | <b>3149,92</b>        |
| 9  | 6475                    | 0,46                      | 0,07           | <b>3171,97</b>        |
| 10 | 6475                    | 0,46                      | 0,07           | <b>3194,17</b>        |
| 11 | 6475                    | 0,46                      | 0,07           | <b>3216,53</b>        |
| 12 | 6475                    | 0,46                      | 0,07           | <b>3239,05</b>        |
| 13 | 6475                    | 0,46                      | 0,07           | <b>3261,72</b>        |
| 14 | 6475                    | 0,46                      | 0,07           | <b>3284,56</b>        |
| 15 | 6475                    | 0,46                      | 0,07           | <b>3307,55</b>        |
| 16 | 6475                    | 0,46                      | 0,07           | <b>3330,70</b>        |
| 17 | 6475                    | 0,46                      | 0,07           | <b>3354,02</b>        |
| 18 | 6475                    | 0,46                      | 0,07           | <b>3377,49</b>        |
| 19 | 6475                    | 0,46                      | 0,07           | <b>3401,14</b>        |
| 20 | 6475                    | 0,46                      | 0,07           | <b>3424,94</b>        |

tab.8.2 -Valori dei ricavi annui netti

#### **8.4 Risparmio energetico con i sistemi solari attivi**

I pannelli solari termici permettono di riscaldare fino al 100 % dell'acqua sanitaria per l'uso quotidiano senza utilizzare gas o elettricità. Nella pratica, ciò si traduce in un notevole risparmio economico ed energetico.

L' impianto fotovoltaico deve produrre circa l' 80% dell'elettricità necessaria all'abitazione (in quanto un impianto fotovoltaico produce di più in giorni di sole e meno in giorni nuvolosi o piovosi, più in estate e meno in inverno; tenendoci mediamente al di sotto, del 20%, del consumo annuo dell'abitazione, si fa in modo che in estate, producendo di più di quello che si consuma, “si venderà” energia, scalata sulle bollette invernali, quando si produce meno di quanto si consuma. In questo modo, mediamente, il dare/avere energetico si dovrebbe andare in parità). Un impianto del genere può produrre circa 2700 - 3200 KWh/anno, con un risparmio annuale (moltiplicando per 0,45 euro/KWh) di 1215 – 1440 Euro/anno. A questo guadagno occorre aggiungere quello che si ottiene non dovendo più comprare la corrispondente energia dall'Enel (infatti, oltre a produrre tot. Energia, quel tot. non si deve più acquistarla): il guadagno in questo senso è (moltiplicando per 0,18 euro/Kwh) di 486 – 576 euro/anno.

#### **8.5 Calcolo del tempo di recupero dei sistemi solari passivi**

E' stato determinato il tempo necessario (anni o frazioni di anno) per reintegrare sotto il profilo finanziario l'investimento effettuato. In pratica, partendo dal budget elaborato, sono stati sommati i flussi periodici netti di recupero (calcolati come differenza tra le entrate e le uscite generate dall'investimento) fin tanto che questi non sono giunti a concorrenza del

valore dell'investimento. Il momento in cui si è riusciti a pareggiare la somma sborsata in origine rappresenta appunto il periodo di recupero.

Innanzi tutto sono stati valutati i flussi di cassa annuali  $F_k$  ottenuti dall'espressione seguente:

$$F_k = R_k - C_{mk}$$

Dall'analisi della sommatoria dei flussi di cassa si è potuto valutare il tempo di recupero non attualizzato  $T_r$  leggendo il valore di  $k$  in corrispondenza del primo termine superiore all'investimento iniziale  $I_0$ .

Per scegliere il tasso di inflazione del committente si è considerato l'interesse medio annuo percepito da una normale famiglia per un investimento in fondi obbligazionari, ottenendo un valore ottimistico del 4%.

Successivamente è stato determinato il valore del VAN mediante la seguente espressione:

$$VAN = -I_0 + \sum_{k=1}^n \frac{F_k}{(1+d)^k}$$

Dove  $F_k$  è il flusso di cassa;  $I_0$  è l'investimento iniziale;  $d$  è il tasso di interesse del committente e  $k$  è l'anno.

Il tempo di recupero attualizzato  $T_{ra}$  corrisponde all'annullamento del valore del VAN (tab. 8.3).

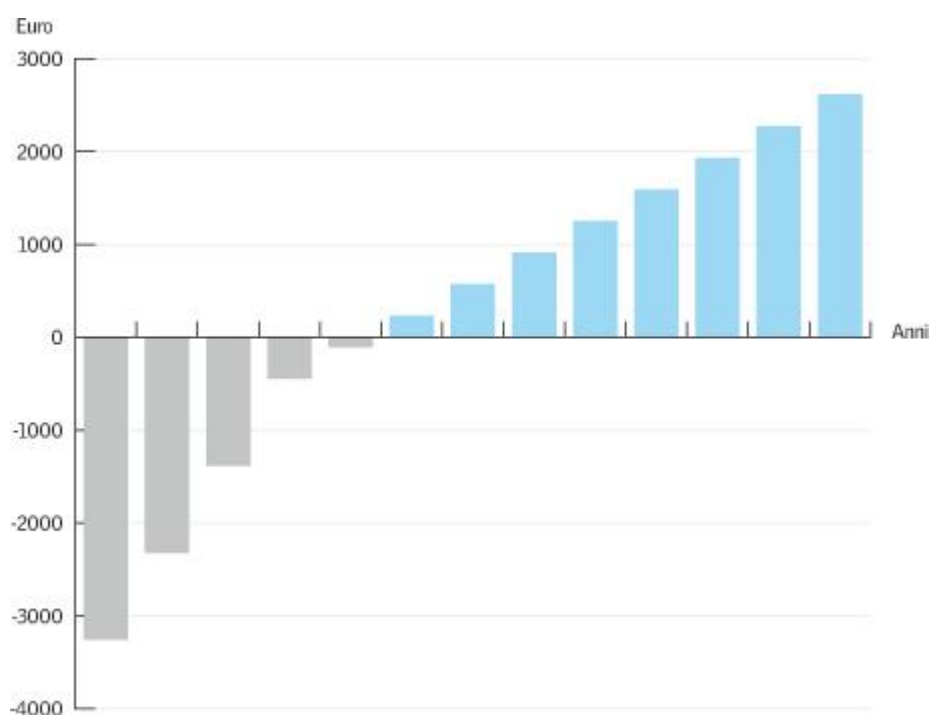
| k  | I <sub>0</sub><br>[€] | R <sub>k</sub><br>[€] | C <sub>mk</sub> | C <sub>k</sub> | F <sub>k</sub> | ΣF <sub>k</sub> | d    | F <sub>k</sub><br>/(1+d) <sup>k</sup> | VAN<br>[€]       |
|----|-----------------------|-----------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|------|---------------------------------------|------------------|
| 1  | 18793,00              | 2999,81               | 244,99          | 244,99         | 2754,82        | 2754,82         | 0,04 | 2648,86                               | -16144,14        |
| 2  | 0                     | 3020,91               | 258,18          | 258,18         | 2775,92        | 5509,64         | 0,04 | 2566,49                               | -13577,65        |
| 3  | 0                     | 3041,95               | 265,41          | 265,41         | 2796,96        | 8264,46         | 0,04 | 2486,48                               | <b>-11091,17</b> |
| 4  | 0                     | 3063,25               | 272,84          | 272,84         | 2818,26        | 11019,28        | 0,04 | 2409,06                               | <b>-8682,11</b>  |
| 5  | 0                     | 3084,69               | 280,48          | 280,48         | 2839,70        | 13774,10        | 0,04 | 2334,02                               | <b>-6348,09</b>  |
| 6  | 0                     | 3106,28               | 288,33          | 288,33         | 2861,29        | 16528,92        | 0,04 | 2261,31                               | <b>-4086,78</b>  |
| 7  | 0                     | 3128,03               | 296,40          | 296,40         | 2883,04        | 19283,74        | 0,04 | 2190,87                               | <b>-1895,91</b>  |
| 8  | 0                     | 3149,92               | 304,70          | 304,70         | 2904,93        | 22038,54        | 0,04 | 2122,60                               | <b>226,69</b>    |
| 9  | 0                     | 3171,97               | 313,24          | 313,24         | 2926,98        | 24793,36        | 0,04 | 2056,45                               | <b>2283,14</b>   |
| 10 | 0                     | 3194,17               | 322,01          | 322,01         | 2949,18        | 27548,18        | 0,04 | 1992,36                               | <b>4275,50</b>   |
| 11 | 0                     | 3216,53               | 331,02          | 331,02         | 2971,54        | 30303,00        | 0,04 | 1930,25                               | <b>6205,75</b>   |
| 12 | 0                     | 3239,05               | 340,29          | 340,29         | 2994,06        | 33057,82        | 0,04 | 1870,08                               | <b>8075,83</b>   |
| 13 | 0                     | 3261,72               | 349,82          | 349,82         | 3016,73        | 35812,64        | 0,04 | 1811,76                               | <b>9887,59</b>   |
| 14 | 0                     | 3284,56               | 359,61          | 359,61         | 3039,57        | 38567,46        | 0,04 | 1755,27                               | <b>11642,86</b>  |
| 15 | 0                     | 3307,55               | 369,68          | 369,68         | 3062,56        | 41322,28        | 0,04 | 1700,53                               | <b>13343,39</b>  |
| 16 | 0                     | 3330,70               | 380,03          | 380,03         | 3085,71        | 44077,10        | 0,04 | 1647,48                               | <b>14990,87</b>  |
| 17 | 0                     | 3354,02               | 390,68          | 390,68         | 3109,03        | 46831,92        | 0,04 | 1596,09                               | <b>16586,99</b>  |
| 18 | 0                     | 3377,49               | 401,62          | 401,62         | 3132,50        | 49586,74        | 0,04 | 1546,29                               | <b>18133,25</b>  |
| 19 | 0                     | 3401,14               | 412,86          | 412,86         | 3156,15        | 52341,56        | 0,04 | 1498,04                               | <b>19631,29</b>  |
| 20 | 0                     | 3424,94               | 424,42          | 424,42         | 3179,95        | 55096,38        | 0,04 | 1451,28                               | <b>21082,57</b>  |

tab 8.3- Valore attuale netto

## 8.6 Calcolo del tempo di recupero dei sistemi solari attivi

I tempi di ammortamento medi (tab.8.4) per un sistema a pannelli solari che produce acqua calda sono stati forniti da aziende del settore e si aggirano intorno ai 6-8 anni.

Gli incentivi fiscali (55% di detrazione IRPEF) riducono questi tempi del 50%.



tab 8.4- Valori indicati per sistema a pannelli solari  
con contributo statale del 55% in 3 anni.

La spesa complessiva da sostenere per l'impianto fotovoltaico, invece, è stata considerata ammortizzabile in circa 11 anni (tempo accettabile considerato

che la vita media dell'impianto fotovoltaico può essere stimata tra i 25÷30 anni).

Tenendo conto del fatto che gli impianti fotovoltaici hanno costi ancora troppo elevati ed ammortizzabili in tempi relativamente lunghi, l'Italia ha varato programmi nazionali per incentivarne l'utilizzo, che prevedono contributi finanziari rendendo l'investimento più conveniente. Attualmente vengono erogate delle tariffe incentivanti che si presentano sotto il nome di "*conto energia*", questo permette al privato di vendere alla rete locale l'energia elettrica prodotta da sistemi fotovoltaici. Pertanto, nel nostro caso si è previsto di ricorrere a questa forma di agevolazione.



## Conclusioni

A questo punto, si vuole capire se il tipo di progetto presentato in questo studio sia vantaggioso, oltre che dal punto di vista energetico, (motivo principale delle soluzioni tecniche e materiche impiegate), anche dal punto di vista economico. E' possibile così constatare, in linea di massima, il positivo impatto applicativo (di tipo energetico, ambientale ed economico) dei risultati ottenuti con il nostro progetto.

Inizialmente, si era coscienti del fatto che una progettazione sviluppata secondo i principi dell'architettura bioclimatica, sarebbe stata conveniente per quanto riguarda la gestione e il funzionamento dell'intero corpo di fabbrica, ma allo stesso tempo avrebbe aumentato le spese per la sua realizzazione, che tuttavia si sarebbero potute ammortizzare nel corso degli anni.

Teniamo conto del fatto che i risultati ottenuti mostrano che con le tecniche pensate in questo esempio si avrebbe un sovra costo di circa il 20%.

L'edificio, inoltre, è nato sulla base dei dati climatici del luogo, perciò la sua forma è stata sviluppata in modo da sfruttare il più possibile l'energia solare (per l'alimentazione dell'impianto fotovoltaico, del solare termico e per il funzionamento della serra bioclimatica) e il vento (per l'utilizzo di aria da trattare nei sistemi di ventilazione) ottenendo una maggiore capacità di accumulo termico, un'illuminazione più uniforme e una migliore ventilazione. Ciò significa, sostanzialmente, oltre che una migliore qualità di vita, un migliore rendimento degli impianti utilizzati, e quindi un risparmio complessivo.

E' chiaro che non è possibile utilizzare la logica tradizionale con la quale si valuta il rapporto costi-benefici nelle operazioni di recupero. Infatti, non si

deve calcolare come beneficio solo la riduzione di combustibile richiesta per il riscaldamento dell'edificio, perché si evitano anche spese elevatissime che la collettività sostiene per i danni causati, con l'inquinamento, dallo stesso edificio.

Alla luce delle considerazioni fatte, si può affermare che quello economico (in termini di ricadute immediate) rimane attualmente uno dei maggiori ostacoli allo sviluppo della "progettazione sostenibile". Sicuramente, l'elaborazione e la diffusione di nuove tecnologie potrebbe avere l'effetto di ridurre indirettamente i costi di materiali e componenti, utilizzabili per il corretto controllo climatico naturale delle costruzioni.

Appare ancora attuale, dunque, ciò che affermò Pier Luigi Nervi nel 1934: "Grande è il vantaggio dell'orientabilità degli ambienti rispetto al sole o al paesaggio, senza troppi sacrifici economici o difficoltà costruttive"

---

## **Bibliografia**

Bottero-Rossi-Scudo-Silvestrini, Architettura solare, Clup 1990

Bruno, Progettazione bioclimatica e bioedilizia : manuale di architettura per edifici e impianti ecocompatibili, Il sole 24 ore 2001

Bruno, Manuale di architettura per la progettazione bioclimatica e la bioedilizia : per progettare e costruire edifici sani e vivibili, Il sole 24 ore 1999

Buono, Architettura del vento : design e tecnologia per il raffrescamento passivo, Clean 1998

Cangelli- Paoletta, Il progetto ambientale degli edifici L.C.A.

Emas, Ecolabel, Gli standard ISO applicati al processo edilizio, Alinea 2001

Ciancillo-Gallo, Costruire con il sole, Ises Italia 1995

Davoli -Pietromaria, Architettura senza impianti, Alinea editrice 1993

Francese, Il benessere negli interventi di recupero edilizio, Diade 2002

Francese, Architettura bioclimatica: risparmio energetico e qualità della vita nelle costruzioni, UTET 1996

Gallo, Architettura ecosistemica : equilibrio ambientale nella città, Cangemi 1998

Gallo, Pianella, Pignocchi, Cecchini, Architettura bioclimatica, ENEA 1995

Gideon, L'eterno presente -Le origini dell'architettura, Feltrinelli 1963

Gioli, Lezioni di architettura bioclimatica, Alinea 2000

Hergoz, Solar energy in architecture and urban planning, Prestel 1995

Marocco, Progettazione e costruzione bioclimatica dell'architettura, Kappa 2000

Norberg-Schulz, Cristian, Genius Loci, Electa 1992

Petrella, Il progetto dell'impianto termico secondo la legge 10 del 9.1.1991, Giannini 2000

Ricci, Architettura bioclimatica. Fondamenti di geometria solare, Edimond 2003

Rifkin Jeremy, Entropia, New Age 1992

Pinna, Teoria dei climi, Società Geografica Italiana 1985

Pinna, Le variazioni dei climi, Franco Angeli 1996

Rogora, Architettura e bioclimatica: la rappresentazione dell'energia nel progetto, Sistemi editoriali 2003

Rosso, Effetto serra-istruzioni per l'uso, Progetto Leonardo 1994

Sala, Recupero edilizio e bioclimatica: strumenti, tecniche e casi studio, S.E. sistemi editoriali 2001

Scudo – Morfini, Materiali clima costruzioni, Clup 1992

Spada, L'uomo l'ambiente la casa, Guerini Studio 1992

Vaclev Smil, Storia dell'energia, Il Mulino 2000

Vicentini-Missoni, Dal calore all'entropia, NIS 1992

Zappone, La serra solare, Sistemi editoriali 2005

Zola, Uscite dal mondo, Adelphi 1992